

WALTHER FLEIG

Investitionsmodelle
als Grundlage der Investitionsplanung

Frankfurt am Main

1965

Investitionsmodelle als Grundlage der Investitionsplanung

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main

vorgelegt von

DIPLOM-KAUFMANN WALTHER FLEIG

aus

Stettin

Frankfurt am Main

1965



Erstgutachter:	Prof. Dr. Karl Hax
Zweitgutachter:	Prof. Dr. Paul Riebel
Tag der mündlichen Prüfung:	22. Juli 1965
Tag der Promotion:	24. Juli 1965

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
EINLEITUNG	
A. Der Zusammenhang zwischen Investitionsmodellen und Investitionsplanung	10
B. Problemstellung	11
C. Abgrenzung der Untersuchung	15
D. Gang der Untersuchung	21
ERSTER TEIL	
Die Investitionsplanung aufgrund traditioneller Modelle	24
A. Die Analyse einzelner Investitionen	25
I. Die Modelle der Einzelanalyse in reiner Form	25
1. Die Modelltypen der Investitionstheorie	25
2. Die Vorteilsberechnung bei vorgegebener Nutzungsdauer	27
a) Die Berechnung der Vorteilhaftigkeit bei isolierter Betrachtung einer Investition	27
aa) Die Kapitalwert-Methode	30
bb) Die Annuitätsmethode	31
cc) Die Interne-Zinsfuß-Methode	32
dd) Vergleich der Rechnungsmethoden	36
b) Die Berechnung der Vorteilhaftigkeit einer Investition bei Einbeziehung konkurrierender Investitionen	37
aa) Darstellung der Methoden	37
(1) Die Kapitalwert-Methode	37
(2) Die Annuitätsmethode	43
(3) Die Interne-Zinsfuß-Methode	44
(4) Der Alternativvergleich auf der Basis des ökonomischen Prinzips	50
bb) Vergleich der Rechnungsmethoden	56

3. Modelle mit simultaner Bestimmung von Vorteilhaftigkeit und wirtschaftlicher Nutzungsdauer	60
a) Darstellung der Methoden	60
aa) Die Bestimmung von Vorteilhaftigkeit und wirtschaftlicher Nutzungsdauer nach der Kapitalwert-Methode	61
(1) ohne Berücksichtigung von Nachfolgeinvestitionen	61
(2) mit Berücksichtigung von Nachfolgeinvestitionen	64
bb) Die Bestimmung von Vorteilhaftigkeit und wirtschaftlicher Nutzungsdauer nach der Internen-Zinsfuß-Methode	67
(1) ohne Berücksichtigung von Nachfolgeinvestitionen	67
(2) mit Berücksichtigung von Nachfolgeinvestitionen	69
b) Vergleich der Rechnungsmethoden	74
II. Die Modelle der Einzelanalyse unter den in der Praxis herrschenden Bedingungen	87
1. Vorbemerkungen	87
2. Die Voraussetzungen zur Durchführung der Einzelanalyse von Investitionen	89
a) Die Datenbeschaffung als Grundlage zur Ermittlung der Zahlungsreihen	89
b) Die Bewertung der Zahlungsreihen mit Hilfe der Risikoanalyse	93
aa) Das absatzwirtschaftliche Risiko	98
bb) Das produktionswirtschaftliche Risiko	100
cc) Die Gegenüberstellung des absatzwirtschaftlichen und produktionswirtschaftlichen Risikos	103
dd) Das finanzwirtschaftliche Risiko	105
3. Die Stufen der Einzelanalyse von Investitionen	109
a) Die Rentabilitätsanalyse	109
aa) Die Analyse der Investitionen mit vollständigen Zahlungsreihen	109

bb) Die Analyse der Investitionen mit unvollständigen Zahlungsreihen	111
cc) Besonderheiten der Analyse bei Ersatzinvestitionen	118
b) Die Ermittlung zusätzlicher Beurteilungskriterien	127
aa) Die finanziellen Auswirkungen einer Investition	129
bb) Die Risikowirkungen einer Investition	132
cc) Die Marktauswirkungen einer Investition	138
c) Die Entscheidung über die Aufnahme der Einzelinvestition in die Planung des Investitionsprogramms	139

B. Die Zusammenstellung des Investitionsprogramms	145
---	-----

Vorbemerkungen	145
----------------	-----

I. Darstellung der Modelle	146
----------------------------	-----

1. Die Bestimmung des optimalen Investitionsprogramms nach der Kapitalwert-Methode	146
a) Das optimale Investitionsprogramm bei unbegrenztem Kapitalangebot zum einheitlichen Zinssatz	146
b) Das optimale Investitionsprogramm bei Kapitalrationierung	149
aa) Die Aufgabe des Kalkulationszinsfußes bei Kapitalrationierung	149
bb) Die Bestimmung des Programms unter verschiedenen Bedingungen	151
(1) Das Programm unter Beachtung eines einzelnen Engpasses (Beispiel I)	151
(2) Das Programm unter Beachtung zweier Engpässe (Beispiel II)	154
(3) Das Programm unter Beachtung von mehr als zwei Engpässen (Beispiel III)	169

(4) Das Programm unter Beachtung mehrerer Engpässe und der Ein- beziehung von Ersatzüberlegungen (Beispiel IV)	177
(5) Das Programm unter Beachtung mehrerer Engpässe und der Li- quidität der Folgeperioden (Beispiel V)	181
cc) Beurteilung der Lösungsversuche	186
c) Das optimale Investitionsprogramm bei Kapitalangebot zu unterschied- lichen Zinssätzen	187
2. Die Bestimmung des optimalen Investi- tionsprogramms nach der Internen-Zins- fuß-Methode	189
a) Das optimale Investitionsprogramm bei unbegrenztem Kapitalangebot zum einheitlichen Zinssatz	189
b) Das optimale Investitionsprogramm bei Kapitalrationierung	197
c) Das optimale Investitionsprogramm bei Kapitalangebot zu unterschied- lichen Zinssätzen	202
3. Der Vergleich der Methoden	205
II. Die Zusammenstellung eines Investitions- programms unter den in der Praxis herr- schenden Bedingungen	210
1. Die Einordnung der Investitionen in das Investitionsprogramm	210
2. Die Untergliederung der Investitionen in Teilprogramme	213
a) Kriterien der Untergliederung	213
b) Die Zusammenstellung der Erhaltungs- investitionen	216
c) Die Zusammenstellung der Anpassungs- investitionen	218
d) Die Zusammenstellung der Gestaltungs- investitionen	221
3. Die Zusammenstellung des Gesamtprogramms	224
4. Die Abstimmung des Gesamtprogramms mit dem langfristigen Finanzplan	224

ZWEITER TEIL

Die Investitionsplanung mit Hilfe der Linearen Planungsrechnung	230
A. Die Grundlagen zur Anwendung der Linearen Planungsrechnung auf Investitionsmodelle	232
B. Die Bestimmung eines einzelnen Investitionsprogramms (einstufiges Modell)	235
I. Das optimale Investitionsprogramm nach der Kapitalwert-Methode	236
1. Das Investitionsprogramm bei Kapitalrationierung	236
a) Die Programmbestimmung bei voneinander unabhängigen Investitionen (Beispiel I)	236
b) Die Programmbestimmung unter Beachtung zweier Engpässe (Beispiel II)	237
c) Die Programmbestimmung unter Beachtung mehrerer Engpässe (Beispiel III)	238
d) Die Programmbestimmung unter Beachtung mehrerer Engpässe und der Einbeziehung von Ersatzinvestitionen (Beispiel IV)	239
e) Die Programmbestimmung unter Beachtung mehrerer Engpässe und der Liquidität der Folgeperioden (Beispiele V)	240
2. Das Investitionsprogramm bei Kapitalangebot zu unterschiedlichen Zinssätzen	244
a) Die Programmbestimmung bei unveränderlichen sonstigen Engpässen	244
b) Die Programmbestimmung bei veränderlichen sonstigen Engpässen	246
II. Das optimale Investitionsprogramm nach der Internen-Zinsfuß-Methode	249
C. Die Bestimmung mehrerer, aufeinander folgender Investitionsprogramme (mehrstufiges Modell)	251

I. Grundlagen der mehrstufigen Modelle	251
1. Das mehrstufige Modell nach der Kapitalwert-Methode	253
2. Das mehrstufige Modell nach der Internen-Zinsfuß-Methode	257
II. Die Beschreibung des mehrstufigen Modells	261
1. Allgemeine Beschreibung	261
2. Beschreibung eines Beispiels	266
D. Kritische Würdigung der Programmierungs- Modelle	272
I. Das einstufige Modell	272
II. Das mehrstufige Modell	276

SCHLUSS

Die Bedeutung der Planungsmodelle für die Investitionsplanung	279
--	-----

LITERATURVERZEICHNIS	283
----------------------	-----

E I N L E I T U N G

A. Der Zusammenhang zwischen Investitionsmodellen und Investitionsplanung

Beim Vorgang des Investierens geht es um die Umwandlung von Geldkapital in Betriebsgüter¹⁾, d.h. von Gütern, die durch ihre Nutzungen dem Unternehmenszweck nicht nur momentan, sondern auch in Zukunft zu dienen geeignet sind. Wenn man solche Investitionen überlegt und planvoll durchführt, wird man ihren vermutlichen Ablauf im voraus durchdenken und analysieren, und zwar anhand von Investitionsmodellen. Als Investitionsmodelle betrachten wir alle Methoden der Investitionsrechnung und alle Systeme, die der Planung von Investitionsprogrammen dienen, denn es handelt sich dabei um Abbildungen von Investitionsvorgängen²⁾. Mit Hilfe dieser Modelle soll festgestellt werden, bei welchen Konstellationen es überhaupt ökonomisch sinnvoll ist, Investitionen durchzuführen und welche Investitionen durchgeführt werden sollen.

Die Investitionsplanung der Unternehmung ist allerdings mehr als nur die ökonomische Analyse des Investitionsvorgangs. Sie umfaßt auch die Beschaffung der für die Analyse erforderlichen Daten und die Dispositionen, die der ökonomischen Analyse folgen. Planung bedeutet ganz allgemein gedankliche Vorwegnahme zukünftigen Geschehens³⁾. Dazu gehören im einzelnen die Prognose, die Eventualplanung, die Entscheidung und die Sollplanung einer Aktion⁴⁾. Auf die Investitionstätigkeit bezogen

1) Vgl. Hax, Karl, Die Kapitalwirtschaft des wachsenden Industrieunternehmens. In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 252-279, hier S. 252.

2) Zum Modellbegriff vgl. Angermann, Adolf, Entscheidungsmodelle, Frankfurt(Main) 1963, S. 15 und 16; Sauermann, Heinz, Einführung in die Volkswirtschaftslehre. Die Wirtschaftswissenschaften, Reihe B, Band I, Wiesbaden 1960, S. 27.

3) Zum Planungsbegriff vgl. Hax, Karl, Planung und Organisation als Instrumente der Unternehmensführung. In: ZfbF, 11F, 11. Jg. (1959), S. 605-615, hier S. 606.

4) Zu den Stufen der Planung und Organisation vgl. Hax, Karl, Planung und Organisation, S. 613.

bedeutet Prognose die Vorausschätzung der Investitionswirkungen; diese bestehen in den Zahlungen, die das Unternehmen als Folge der Investitionstätigkeit leistet und empfängt. Eventualplanung bedeutet im Zusammenhang mit der Investitionstätigkeit die Durchrechnung und den Vergleich verschiedener Investitionsmöglichkeiten. Aus dem Ergebnis der Eventualplanung läßt sich die Entscheidung für die Art und den Umfang der Investitionen ableiten. Im Anschluß an die Entscheidung wird die Sollplanung erstellt. Sie sichert die Durchführung der getroffenen Investitionsentscheidungen.

Die Darstellung des Planungsvorgangs zeigt, daß die ökonomische Analyse der Investitionstätigkeit den wesentlichen Inhalt der Eventualplanung bildet. Die Eventualplanung der Investitionen muß also anhand von Investitionsmodellen erfolgen. Die Wirksamkeit des Verfahrens hängt allerdings davon ab, ob mit Hilfe der Modelle alle ökonomisch wesentlichen Faktoren der Investitionstätigkeit erfaßt werden.

B. Problemstellung

Die Erkenntnis, daß Investitionsentscheidungen auf Grund rationaler Kalküle erfolgen sollten und daß man diesen Kalkülen Investitionsmodelle zugrunde legen müsse, hat sich in der Praxis in den letzten Jahren immer mehr durchgesetzt. Das zeigt sich daran, daß eine ganze Reihe von Unternehmen, insbesondere Großunternehmen, dazu übergegangen ist, Stabsstellen für die Entwicklung und Anwendung interner Investitionsrechnungen einzurichten. Diese Stellen bedienen sich weitgehend der von der Theorie entwickelten Modelle⁵⁾. Von der Praxis wird andererseits vielfach bezweifelt, daß es möglich sei, mit Hilfe von Investitionsmodellen die Probleme der Investitionsplanung zu lösen. In diesem Zusammenhang wird insbesondere auf die komplizierten Rechenverfahren hingewiesen, die das Verständnis der Methoden erschweren. Dieses Problem ließe sich

5) Die deutsche Bundesbahn hat z.B. ausführliche Richtlinien und spezielle Dienstvorschriften für Wirtschaftlichkeitsrechnungen entwickelt.

durch eine einfache und verständliche Beschreibung der Modelle unter Heranziehung von Beispielen lösen. Für die Durchführung der Berechnungen kann man Arbeitskräfte mit spezieller Ausbildung einsetzen, wobei zu berücksichtigen ist, daß zur Anwendung der Modelle in der Regel einfache mathematische Kenntnisse genügen⁶⁾. In anderen Bereichen der Unternehmung, z.B. im technischen Bereich, werden weit kompliziertere Rechenverfahren angewandt. Allerdings erfordern manche modernen Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung eine Vorstellungs- und Denkweise, die von der bisherigen Übung abweicht. Das erklärt die ablehnende Haltung vieler Praktiker gegen diese Rechenmethoden⁷⁾.

Der entscheidende Grund, warum die Investitionsmodelle in der von der Theorie entwickelten Form so schwer in die Praxis Eingang finden, liegt aber darin, daß die Modelle oft das Vorhandensein von Daten voraussetzen, die in der Wirklichkeit nicht oder sehr schwer beschafft werden können. Die Investitionstheorie hat den Fragenkomplex der Datenbeschaffung bisher weitgehend außer acht gelassen. Sie hat sich vorwiegend mit der Entwicklung und Erklärung der Rechenverfahren beschäftigt. Je nachdem, welcher wissenschaftliche Standpunkt dabei eingenommen wurde, stand die allgemeine theoretische Begründung der Rechnungen, die die Praxis anwendet⁸⁾, oder die Entwicklung

6) Das geht schon aus den Lehrbüchern hervor, die sich mit der Mathematik für Investitionsrechnungen befassen. Vgl. z.B. Hart, William L., Mathematics of Investment, Fourth Edition, Boston 1958.

7) Vgl. hierzu auch Schindler, Heinz, Investitionsrechnungen in Theorie und Praxis, Meisenheim/Glan 1958, S. 16. Er geht hier auf die verschiedenen Denkart ein, durch die sich einmal Theoretiker und Praktiker, zum anderen Wirtschaftler und Techniker unterscheiden.

8) Das gilt insbesondere für das Buch Schneiders. Vgl. Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, 3. Aufl., Tübingen-Zürich 1961, S. V.

von Verfahren für die Praxis⁹⁾ oder die Nutzbarmachung der bereits von der Theorie entwickelten Methoden in der Praxis¹⁰⁾ im Vordergrund. Die Modelle der Theorie, die zunächst stark vereinfacht waren, wurden dabei immer mehr erweitert¹¹⁾.

Das Hauptgewicht der theoretischen Arbeit lag jedenfalls auf der Weiterentwicklung der Modelle selbst. Was geschehen soll, wenn die notwendigen Daten nicht erlangbar sind, wurde nicht gesagt. Zur Erläuterung der Modelle dienten solche Beispiele, die dem Modell angepaßt waren. Das ist legitim, solange die Prämissen des Modells als solche erkennbar bleiben und nicht mit der Wirklichkeit gleichgesetzt werden oder wenn Anhaltspunkte dafür gegeben werden können¹²⁾, wie man Daten beschafft.

-
- 9) Z.B. die Verfahren des MAPI (Machinery and Allied Products Instituts) wurden mit dieser Absicht entwickelt. Vgl. Terborgh, George, Dynamic Equipment Policy. A MAPI Study, New York-Toronto-London 1949; derselbe, Realistic Depreciation Policy. A MAPI Study, Chicago 1954; derselbe, Business Investment Policy. A MAPI Study and Manual, Washington 1958, deutsche Übersetzung: Leitfaden der betrieblichen Investitionspolitik, Wiesbaden 1962.
- 10) Vgl. z.B. hierzu Schindler, Heinz, Investitionsrechnungen in Theorie und Praxis; Brandt, Horst, Investitionspolitik des Industriebetriebes, Wiesbaden 1959.
- 11) Zur zeitlichen Entwicklung der Investitionstheorie vgl. auch Moxter, Adolf, Lineares Programmieren und betriebswirtschaftliche Kapitaltheorie. In: ZfhF, NF, 15. Jg. (1963), S. 309, hier S. 285-286.
- 12) So behandelt z.B. Dieter Schneider nach der Entwicklung des Modells zur Bestimmung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer die Frage, wie man die erforderlichen Daten gewinnt. Vgl. hierzu Schneider, Dieter, Die wirtschaftliche Nutzungsdauer von Anlagegütern. Köln und Opladen 1961, S. 79 ff.

In der Praxis zeigte es sich, daß die theoretischen Methoden eine bloße Modellwirklichkeit darstellen und daß die Daten nicht immer vollständig beschafft werden können. Man zieht aber daraus häufig den Schluß, daß die Modelle überhaupt nicht anwendbar seien. Auf den jeweiligen praktischen Fall bezogen, wird sich dann fast jedes Modell zunächst als unbrauchbar erweisen. Das kann daran liegen, daß das Modell zu allgemein formuliert ist; man muß dann versuchen, das Modell den Besonderheiten des praktischen Falls entsprechend anzupassen. Das Modell kann aber auch im Hinblick auf einen anderen Fall entwickelt worden sein; dann genügt nicht die Anpassung, sondern man sollte sich bemühen, ein anderes Modell zu finden, welches dem konkreten Fall besser entspricht. Die Unbrauchbarkeit eines Modells wird auch oft schon dann angenommen, wenn zwischen der Präzision der Rechnung und der Qualität der Daten, die häufig auf groben Schätzungen beruhen werden, eine Diskrepanz besteht. Aber auch hier ist es meistens sinnvoll, das Investitionsmodell entsprechend abzuwandeln, statt auf eine Anwendung ganz zu verzichten.

Das Problem der Anwendbarkeit von Investitionsmodellen ist also in erster Linie ein Problem der Auswahl der richtigen Modelle und der Anpassung der Modelle an den Einzelfall. Die von der Theorie entwickelten Modelle sind 1. im Hinblick auf ihren Anwendungsbereich miteinander zu vergleichen und 2. daraufhin zu untersuchen, ob sie mit den in der Praxis vorhandenen Daten auskommen, ob also die Datenanforderungen des Modells erfüllbar sind. Gegebenenfalls sind Modelle zu entwickeln, die mit den erlangbaren Daten auskommen.

Beim ersten Überblick über die in der Literatur bereits behandelten Modelle zeigt sich aber zunächst eine Kluft zwischen den verhältnismäßig einfachen Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung und den umfangreichen Modellen der Investitionsplanung, die sich der Linearen Planungsrechnung bedienen. Die Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung dienen zur Berechnung der Vorteilhaftigkeit einzelner Investitionen. Die umfangreichen Modelle der Investitionsplanung werden zur Zusammenstellung ganzer Investitionsprogramme unter Beachtung verschiede-

ner Finanzierungsmöglichkeiten und mehrerer betrieblicher Engpässe verwendet. Die Zwischenglieder zwischen diesen beiden Modellgruppen wurden in der Literatur bisher nicht eingehend behandelt. Vor allem aber wurde die Verbindung zwischen ihnen nicht hergestellt. Es erhebt sich die Frage, ob es zweckmäßig ist, die Zwischenglieder zu entwickeln und die Verbindung herzustellen. Wir halten dies aus zwei Gründen für sinnvoll: Erstens wird es Planungsaufgaben geben, zu deren Lösung die einfachen Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung nicht ausreichen, während die Modelle der Linearen Planungsrechnung bereits zu kompliziert und sensibel sind; für diese Zwecke könnte man auf die Zwischenglieder zurückgreifen. Zweitens trägt die Schaffung der Verbindung zwischen den einfachen Rechenmethoden und den komplizierten Modellen zum Verständnis der Modelle bei und erklärt die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Stadien.

Wir haben uns deshalb zusätzlich die Aufgabe gestellt, eine Verbindung zwischen den beiden Modellgruppen zu schaffen. Sie läßt sich mit unserer ersten Aufgabe in Einklang bringen, die Modelle im Hinblick auf ihren Anwendungsbereich miteinander zu vergleichen und auf ihre Datenanforderungen hin zu untersuchen. Beide Aufgaben verlangen nämlich eine systematische Darstellung der Modelle.

C. Abgrenzung der Untersuchung

Die Abgrenzung betrifft drei voneinander unabhängige Fragen:

1. Sollen sowohl deterministische als auch stochastische Modelle in der Untersuchung behandelt werden oder ist eine Beschränkung auf deterministische Modelle gerechtfertigt?
2. In welchem Umfang sollen die der ökonomischen Analyse der Investitionen vorangehenden und nachfolgenden Handlungen, die nach unserer Begriffsbildung zur Investitionsplanung gehören, in die Untersuchung einbezogen werden?
3. Sollen die in der Investitionstheorie gebräuchlichen Entscheidungskriterien als richtig unterstellt oder im einzelnen überprüft werden?

Die Beantwortung der ersten Frage erfordert eine Erörterung des Wesens stochastischer Modelle. Stochastische Modelle sind für die Fälle gedacht, bei denen keine eindeutigen Erwartungen vorliegen. Das trifft zwar wegen der Unsicherheit zukünftiger Ereignisse für die meisten Investitionsvorhaben zu. Eine solche Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung bedeutet aber noch lange nicht, daß nunmehr zur Lösung des Entscheidungsproblems ein stochastisches Modell verwandt werden muß. In einem stochastischen Modell sind die Daten nicht eindeutig festgelegt¹³⁾. Es können für die Einnahmen und Ausgaben mehrere mögliche Werte auftreten, denen Wahrscheinlichkeiten für ihr Eintreten zugeordnet sind¹⁴⁾. Die Form einer solchen Wahrscheinlichkeitsverteilung stellt ein Maß für das Risiko einer Investition dar¹⁵⁾.

Die Lösung eines solchen Modells ist nur eindeutig, wenn das Präferenzverhältnis von Gewinnmöglichkeit zu Risikoneigung vorher festgelegt wird¹⁶⁾. Dieses Verhältnis richtet sich nach der individuellen Risikoneigung jedes einzelnen Investors. Wenn man aber die Risikoneigung des Unternehmers in die Rechnung einbeziehen will, dann muß man von einer Norm ausgehen. Solche Normen werden aber willkürlich gesetzt und gelten nicht notwendig für den Einzelfall. Daran scheitert die praktische Anwendung solcher Modelle.

13) Vgl. zum Begriff der deterministischen und stochastischen Modelle Angermann, Adolf, Entscheidungsmodelle, S. 37; Förstner, Karl, Bemerkungen zur Wirtschaftsmechanik, In: ZfB 29. Jg. (1959), S. 38-48, hier S. 40 und 41 und Kosiol, Erich, Modellanalyse als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen, In: ZfhF, NF, 13. Jg. (1961), S. 318-353, hier S. 326.

14) Vgl. Albach, Horst, Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen, Köln und Opladen 1959, S. 98.

15) Vgl. Albach, Horst, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 104; ferner Orth, Ludwig, Die kurzfristige Finanzplanung industrieller Unternehmungen, Köln und Opladen 1960, S. 134.

16) Vgl. Orth, Ludwig, S. 141.

Es sprechen noch andere Gründe dagegen, stochastische Modelle in der Investitionsrechnung zu verwenden. Die Ermittlung einer Wahrscheinlichkeitsdistribution ist an bestimmte Voraussetzungen geknüpft. Das Ereignis, für welches eine solche Verteilung aufgestellt werden soll, muß in der Vergangenheit mehrmals, wenn auch nicht gerade in identischer Form, aufgetreten sein. Anderenfalls lassen sich keine rationalen Gründe für eine differenzierte Angabe der Eintrittswahrscheinlichkeiten anführen. Je mehr aber das zur Diskussion stehende Ereignis von den annähernd vergleichbaren Ereignissen der Vergangenheit abweicht oder je länger diese Ereignisse zurückliegen, um so weniger lassen sich die Wahrscheinlichkeitsvorstellungen präzisieren. Weichen die Ereignisse der Vergangenheit ganz erheblich von dem für die Zukunft geplanten Vorgang ab oder liegen sie so weit zurück, daß die derzeitigen Verhältnisse sich im Vergleich zur Vergangenheit wesentlich geändert haben, so können nur noch Vorstellungen allgemeinsten Art zur Beurteilung herangezogen werden, die man als Erfahrung zu bezeichnen pflegt. Zur Aufstellung einer Wahrscheinlichkeitsdistribution können aber allgemeine Erfahrungen mit ähnlichen Vorfällen nicht herangezogen werden¹⁷⁾.

Die Voraussetzung des mehrmaligen Vorkommens von annähernd vergleichbaren Investitionen ist nur beim Typ der routinemäßigen Ersatzinvestitionen erfüllt, etwa bei Ersatzvorhaben für einen größeren Fuhrpark. Aber selbst hier bleibt die Frage offen, ob man die Aussagen über eine statistische Masse auf den Einzelfall übertragen kann¹⁸⁾. Das gilt auch für die

17) Vgl. hierzu auch die Ausführungen von Gerhard Merk, der mit ähnlichen Argumenten zur Ablehnung von Shakles Theorie der potentiellen Überraschung kommt, Merk, Gerhard, Wahrscheinlichkeitstheorie und Investitionstheorie, In: Weltwirtschaftliches Archiv, Band 81 (1958), S. 66-79, hier S. 77.

18) Vgl. hierzu Riebel, Paul, Die Problematik der Normung von Abschreibungen, In: Der Betrieb, 13. Jg. (1960), S. 729-734, hier S. 731. Riebel hält die Übertragung der Aussagen einer statistischen Masse auf den Einzelfall im Zusammenhang mit der Normung von Abschreibungen für fragwürdig.

Übernahme einer Wahrscheinlichkeitsverteilung auf das einzelne Investitionsobjekt, etwa in der Form, daß man z.B. die Streuung der Lebensdauer der früher im Fuhrpark eingesetzten Kraftwagen in die Berechnung für ein neues Fahrzeug übernimmt. Sie kann höchstens dazu herangezogen werden, mögliche Ober- und Untergrenzen zu ermitteln, die aber keineswegs als sicher zu betrachten sind.

Es erscheint daher sinnvoller, die Rechnung mit dem glaubwürdigsten Wert vorzunehmen und gegebenenfalls den ungünstigsten und den günstigsten Wert zur Entscheidung heranzuziehen, anstatt die Entscheidung mittels eines stochastischen Modells und dessen einwertigem Ergebnis die Entscheidung zu treffen. Denn die Einwertigkeit kommt beim stochastischen Modell nur durch die Vorschaltung einer Entscheidungsregel zustande, die das Verhältnis von Gewinnmöglichkeit und Risikoneigung fixiert.

In den Fällen, die für die Investitionstheorie als typisch anzusehen sind, handelt es sich jedoch um Investitionen, welche nicht unmittelbar mit ähnlichen Vorhaben in der Vergangenheit verglichen werden können. Man hat die Höhe der zukünftigen Einnahmen und Ausgaben anhand der Marktprognosen und allgemeinen Erfahrungen zu schätzen. Dabei kann die Marktprognose wiederum in Form einer stochastischen Nachfrage vorliegen. Überträgt man diese in die Investitionsrechnung, so ergeben sich die gleichen Probleme wie oben: Die Einstellung des Unternehmers hinsichtlich Gewinnchance und Risiko muß vorher festgelegt werden, wenn das stochastische Modell eine eindeutige Lösung bringen soll. Auch hier erscheint es uns daher sinnvoller, deterministische Modelle zu benutzen und verschiedene Grenzwerte alternativ durchzurechnen.

Läßt die Marktprognose keine Aussagen über eine Ober- und eine Untergrenze sowie einen wahrscheinlichen Wert dazwischen zu, so kann man u.U. auf den Lösungsweg Krelles zurückgreifen. Er schlägt für solche Fälle vor, die Investition gedanklich zu wiederholen, um so zu einer Wahrscheinlichkeits-

verteilung zu kommen¹⁹⁾; eine subtile Verteilung, die zu einem stochastischen Ansatz verwendet werden könnte, wird sich zwar kaum aus einer solchen gedanklichen Wiederholung ergeben. Immerhin wird aber eine Vorstellung vom wahrscheinlichsten Wert und von der Ober- und Untergrenze erlangbar sein. Sollte sich der seltene Fall von Gleichmöglichkeit für eine Reihe von Werten ergeben, so läßt sich auch dann mindestens eine Untergrenze und Obergrenze mit einiger Genauigkeit angeben. Auch hier dürfte es sinnvoll sein, mit deterministischen Modellen zu rechnen.

Außerdem ist zu berücksichtigen, daß es der Theorie bisher noch nicht gelungen ist, praktikable Lösungsmethoden für stochastische Modelle zu entwickeln²⁰⁾. Die stochastischen Modelle des Operations Research, wie sie beispielsweise von Dantzig entwickelt wurden²¹⁾, betreffen andere Problemkreise. Ob sie auf Investitionsüberlegungen angewandt werden können, wurde bisher noch nicht untersucht.

Im folgenden werden daher ausschließlich deterministische Modelle behandelt. Wir setzen also voraus, daß die Daten, soweit sie vorliegen, folgende Bedingungen erfüllen: Entweder gelingt es, bei jeder Investition den glaubwürdigsten Einnahmen- und Ausgabenstrom zu ermitteln, oder man kann einen wahrscheinlichen Zahlungsstrom und davon abweichende Ober- und Untergrenzen angeben.

19) Vgl. Krelle, Wilhelm, Unsicherheit und Risiko in der Preisbildung, In: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, Bd. 113 (1957), S. 633-677, hier S. 638.

20) Vgl. Krelle, Wilhelm, Gelöste und ungelöste Probleme der Unternehmensforschung. Heft 5 der Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, Köln- und Op-laden 1962, bes. S. 40 und S. 41.

21) Vgl. Dantzig, George B., Linear Programming under Uncertainty, In: Management Science, Vol. 1 (1955), S. 197-206.

Die zweite Abgrenzungsfrage betrifft die Vorgänge, die der ökonomischen Analyse des Investitionsvorgangs vor- und nachgeschaltet sind.

Die Datenbeschaffung soll bei der Gegenüberstellung der Modelle mit den praktischen Gegebenheiten behandelt werden; dabei ist zu untersuchen, mit welchen Datenkonstellationen man in der Praxis rechnen muß und inwieweit die verschiedenen Modelle bei den einzelnen Datenkonstellationen zur Lösung herangezogen werden können.

An die ökonomische Analyse schließt sich die Entscheidung über Art und Umfang der Investitionen an. Soweit sie sich eindeutig aus der Analyse ableiten läßt, ist sie in unsere Untersuchung einbezogen. Ausgeschlossen bleibt aber der Fall, in dem eine eindeutige Ableitung nicht möglich ist und die Entscheidung anhand zusätzlicher, außerhalb der Analyse stehender Faktoren gefällt werden muß. Wir befassen uns beispielsweise nicht mit dem Problem der Entscheidungsfindung, das dann vorliegt, wenn aus der ökonomischen Analyse mehrere Ergebnisse abgeleitet werden können, die gleichwertig sind. Die Lösung dieser Frage ist Gegenstand der Entscheidungstheorie. Ihr fällt die Aufgabe zu, "den wirtschaftenden Menschen in seinem Bemühen um 'richtige' Entschlüsse klärend zu beraten und zu unterstützen"²²⁾.

Die an die Entscheidung sich anschließende Sollplanung soll ebenfalls aus der Untersuchung ausgeklammert werden. Sie befaßt sich mit der gedanklichen Vorbereitung der Durchführung von Investitionen und liegt damit außerhalb unseres Themenkreises.

Die dritte Abgrenzungsfrage betrifft die Zielkriterien der Modelle. Die üblichen Methoden der Investitionsrechnung leiten sich aus unternehmerischen Zielvorstellungen ab, deren

22) Vgl. Gäfgen, Gerard, Theorie der wirtschaftlichen Entscheidungen, Tübingen 1963, S. 16.

Grundlage das Streben nach Gewinn bildet. Die Investitionstheorie hat daraus die Kriterien "Kapitalwert" und "interner Zinsfuß" abgeleitet²³⁾. Beide gelten als Maßstab dafür, ob und in welchem Umfang ein Vorhaben die Zielsetzung der Gewinnmaximierung erfüllt. In der Literatur werden diese Maßstäbe allgemein anerkannt²⁴⁾. Es gibt aber auch Ansätze, die neben der Gewinnmaximierung eine Einbeziehung von Vorstellungen des Unternehmers über den zeitlichen Gewinnverlauf in die Zielvorstellungen diskutieren²⁵⁾. Diese Ansätze lassen sich, soweit wir das beurteilen können, durch Ergänzung der bisher entwickelten Modelle lösen. Wir werden darauf aber nicht näher eingehen, weil wir zunächst die offenen Fragen klären wollen, die sich aus den Modellen selbst ergeben.

D. Gang der Untersuchung

Zum Vergleich der Modelle untereinander und zu ihrer Gegenüberstellung mit den in der Praxis herrschenden Bedingungen bedarf es der systematischen Gliederung der Modelle. Die Modelle der Investitionstheorie lassen sich folgendermaßen einteilen:

-
- 23) Vgl. hierzu Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 23 und 24; Lutz, Friedrich und Vera, The Theory of Investment of the Firm, Princeton 1951, S. 42.
- 24) Vgl. z.B. Schindler, Heinz, Investitionsrechnungen in Theorie und Praxis, S. 59-66; Brandt, Horst, S. 66-107; Schneider, Dieter, Die wirtschaftliche Nutzungsdauer von Anlagegütern, S. 44-47; Albach, Horst, Artikel Wirtschaftlichkeitsrechnung, In: Hdw. der Sozialwissenschaften, 41. Lieferung, Stuttgart-Tübingen-Göttingen 1962, S. 76; Angermann, Adolf, S. 126-129.
- 25) Vgl. hierzu Koch, Helmut, Betriebliche Planung, Die Wirtschaftswissenschaften, Reihe A, Nr. 4, Wiesbaden 1961, S. 85-90; Moxter, Adolf, Lineares Programmieren und betriebswirtschaftliche Kapitaltheorie, S. 298. Hirshleifer bemängelt, daß die Lösungsansätze unabhängig von den Konsumentscheidungen des Investors gesehen werden und bezieht sie in sein Modell ein. Vgl. hierzu Hirshleifer, J., On the Theory of Optimal Investment Decision. In: Solomon, Ezra, The Management of Corporate Capital, Chicago 1961, S. 205-228.

1. Nach der Art der Daten, die in das Modell aufgenommen werden. Nach diesem Kriterium unterscheidet man deterministische und stochastische Modelle.
2. Nach dem Entscheidungskriterium, welches bei der Analyse zugrunde gelegt wird. Nach diesem Kriterium unterscheidet man beispielsweise das Kapitalwert-Modell vom Internen-Zinsfuß-Modell.
3. Nach der Zwecksetzung des Modells. Hiernach kann man zwischen Modellen unterscheiden,
 - a) die der Analyse eines einzelnen Investitionsprojektes dienen,
 - b) die der Zusammenstellung eines ganzen Investitionsprogramms dienen, das sich aus mehreren, in der gleichen Periode auszuführenden Einzelinvestitionen zusammensetzt,
 - c) die der Zusammenstellung mehrerer aufeinander folgender Investitionsprogramme dienen.
4. Nach der Art der Rechenverfahren, die bei den Modellen zur Anwendung kommen. Hiernach kann zwischen Modellen, die sich traditioneller Verfahren bedienen, und Modellen, die die mathematische Programmierung verwenden, unterschieden werden.

Die Unterteilung der Modelle nach der Art der Daten, die in das Modell aufgenommen werden (Untergliederung nach Punkt 1), scheidet in unseren weiteren Überlegungen aus. Wie wir bereits bei der Abgrenzung begründet haben, soll unsere Untersuchung auf deterministische Modelle beschränkt bleiben.

Als Hauptgliederungskriterium wird in unserer Arbeit die Einteilung der Modelle nach der Art der Rechenverfahren (Untergliederung nach Punkt 4) verwendet. Wir behandeln im ersten Teil der Arbeit die traditionellen Modelle und im zweiten Teil die Modelle, welche sich der Linearen Planungsrechnung bedienen. Diese Zweiteilung ist deshalb zweckmäßig, weil die Verwendung der neuen Rechenverfahren eigene Probleme mit sich bringt. Die Erklärung der traditionellen Modelle ist Voraussetzung für die Beurteilung der "Modelle mit Anwendung der Linearen Planungsrechnung".

Innerhalb des ersten Hauptteils der Arbeit dient die Einteilung der Modelle nach ihrer Zwecksetzung (Untergliederung nach Punkt 3) als Kriterium. Es werden zunächst die Modelle zur Analyse einzelner Investitionsprojekte, dann die Modelle zur Zusammenstellung eines ganzen Investitionsprogramms und zuletzt die Modelle zur Aufstellung mehrerer aufeinander folgender Investitionsprogramme behandelt. Wir wollen hier von Modellgruppen sprechen. Diese Modellgruppen bauen aufeinander auf; sie stellen jedoch jeweils für sich abgeschlossene Entwicklungsstufen dar. Deshalb soll auch nach der Beschreibung jeder Modellgruppe ihre Bedeutung für die praktische Investitionsplanung untersucht werden.

Innerhalb der Modellgruppen erfolgt die Einteilung der Modelle nach dem Entscheidungskriterium (Untergliederung nach Punkt 2). Wir wollen hier wie üblich von Methoden sprechen, wobei als Hauptmethoden die Kapitalwert-Methode und die Interne-Zinsfuß-Methode zu berücksichtigen sind. Sie sollen unter dem Gesichtspunkt ihrer Eignung für die praktische Planung miteinander verglichen werden. Da die Methoden nicht nur bei der Analyse einzelner Projekte, sondern auch bei der Aufstellung von Programmen zugrunde gelegt werden, zieht sich ihr Vergleich durch alle drei Modellgruppen.

Innerhalb der Modellgruppen werden wir außerdem immer mit der Darstellung der einfachsten Modelle beginnen. Ein Modell ist einfacher als ein anderes Modell, wenn bei gleicher Anzahl der einbezogenen Faktoren die Anzahl der zu bestimmenden Größen kleiner und damit die Anzahl der gegebenen Größen größer ist.

Für die letzte Gruppe, nämlich die Modelle zur Zusammenstellung mehrerer aufeinander folgender Investitionsprogramme, kommen nur die Verfahren der Linearen Planungsrechnung in Betracht. Im Vordergrund steht dabei die Darstellung der Modelle; die Beurteilung unter dem Gesichtspunkt der Anwendung ergibt sich schon aus ihrer Beschreibung. Deshalb begnügen wir uns dort mit einer zusammenfassenden kritischen Würdigung.

E R S T E R T E I L

Die Investitionsplanung
auf Grund traditioneller Modelle

A. Die Analyse einzelner Investitionen

I. Die Modelle der Einzelanalyse in reiner Form

1. Die Modelltypen der Investitionstheorie

Aufgabe von Investitionsmodellen ist es, eine ökonomische Analyse bei Entscheidungen über den Einsatz von Kapital in der Unternehmung zu ermöglichen. Dabei stehen Investitionen in Sachanlagen, vorwiegend in Maschinen und anderen Objekten des Sachanlagevermögens, im Vordergrund. Dementsprechend wird der Begriff Investition in unseren Ausführungen in erster Linie im Sinne der Realinvestition in Anlagegüter²⁶⁾ gebraucht. Die verschiedenen Investitionsbegriffe sind in der Literatur ausführlich behandelt worden, so daß wir auf die Darstellung verzichten können²⁷⁾. Hier genügt der Hinweis auf die allgemein gebräuchliche Begriffsbildung. Danach wird als Investition sowohl die Handlung des Investierens als auch die mit dem Investieren verbundene Ausgabe bezeichnet. Schneider definiert daher die Investition als einen Strom von Auszahlungen (Ausgaben), der mit einem Produktionsprozeß in Verbindung

26) Nicht die physische Natur eines Gutes, sondern die Zweckbestimmung, d.h. die Absicht der Unternehmung, ein Gut längere Zeit zu nutzen, macht es zum Anlagegut. Vgl. hierzu Hax, Karl, Die Substanzerhaltung der Betriebe, Köln und Opladen 1957, S. 178.

27) Zum Investitionsbegriff vgl. Boulding, Kenneth E., Time and Investment, In: Economica, New Series, Vol. 3 (1936), S. 196-220, hier S. 196; Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 4-8; Gutenberg, Erich, Zur neueren Entwicklung der Wirtschaftlichkeitsrechnung, In: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, Bd. 108 (1952), S. 630-645, hier S. 643. Eine detaillierte Studie über den Investitionsbegriff findet sich bei Ballmann. Vgl. hierzu Ballmann, Werner, Beitrag zur Klärung des betriebswirtschaftlichen Investitionsbegriffs und zur Entwicklung einer Investitionspolitik der Unternehmung, Dissertation, Mannheim 1954, bes. S. 7 und S. 12.

steht²⁸⁾. Diesen Begriff werden wir im folgenden verwenden, da die ökonomische Analyse in erster Linie auf die Zahlungen abstellt.

Gegenüber den in der Praxis häufig aufzufindenden Rechnungen handelt es sich in der Investitionstheorie um Modelltypen, die als "geschlossen" bezeichnet werden können²⁹⁾. Während bei einem offenen oder unvollständigen Modell bestimmte Faktoren, z.B. Betriebskosten, herausgegriffen und in einer Rechnung verglichen werden, ohne daß man über die vernachlässigten Faktoren ausdrückliche Annahmen macht, sichert die Investitionstheorie ihre Modelle durch Prämissen ab. Die Prämissen schließen die Nahtstellen, an denen das Problem aus der Wirklichkeit herausgeschnitten wird. Sie ersetzen die Wirklichkeit durch Vereinfachungen. Je weiter sie sich von den tatsächlichen Verhältnissen entfernen, um so wirklichkeitsfremder und damit unbrauchbarer ist das Modell als unmittelbare Grundlage für Entscheidungen. Wäre es möglich, an Stelle der Prämissen die realen Gegebenheiten in das Modell einzuführen, läge ein Totalmodell vor³⁰⁾. Es brauchen dabei nur solche Gegebenheiten aufgenommen zu werden, die auf die Entscheidung Einfluß haben. Die Investitionsmodelle sind durchweg Partialmodelle, weil immer ein Teil der Daten als Prämissen gesetzt werden muß³¹⁾. Wir beginnen unsere Darstellung mit den einfachsten Modellen. Das sind zunächst einmal die Modelle, bei denen jeweils ein einzelnes Vorhaben untersucht wird. Dabei

28) Vgl. Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 1.

29) Zum Charakter von Planungsmodellen vgl. Kern, Werner, Gestaltungsmöglichkeit und Anwendungsbereich betriebswirtschaftlicher Planungsmodelle, In: ZfhF, NF, 14. Jg. (1962), S. 167-179.

30) Vgl. hierzu auch die Begriffe Total- und Partialanalyse bei Sauermann, Heinz, Einführung in die Volkswirtschaftslehre, S. 24 und 25.

31) Vgl. zu den Modelltypen auch die Ausführungen von Albach, Horst, Investitionsentscheidungen im Mehrproduktunternehmen, In: Angermann, Adolf, (Hrg.), Betriebsführung und Operations Research, Frankfurt (Main) 1963, S. 24-28, hier S. 26.

müssen allerdings vielfach zum Zweck des Vergleichs mehrere Vorhaben nacheinander untersucht werden, weil sie gegeneinander konkurrieren. Auch hier steht nämlich das einzelne Vorhaben im Mittelpunkt der jeweiligen Untersuchung. Im Gegensatz zu diesen Modellen der Einzelanalyse stehen die Modelle, bei denen es um die Kombination mehrerer komplementärer, d.h. nebeneinander durchführbarer Projekte geht. Hier ist nicht mehr das einzelne Vorhaben mit seinen Zahlungen Gegenstand der Untersuchung. Es geht vielmehr um die gegenseitige Abstimmung der nebeneinander durchzuführenden Einzelprojekte. Da der erste Fall gewissermaßen eine "zerlegende" Untersuchung einzelner Vorhaben darstellt, während im zweiten Fall der "zusammensetzende" Vorgang der Kombination im Mittelpunkt steht, könnte man im ersten Fall von analytischen Modellen und im zweiten Fall von synthetischen Modellen sprechen. Wir wollen aber der Einfachheit halber den ersten Fall als die Analyse einzelner Investitionen bezeichnen und im zweiten Fall von der Zusammenstellung von Investitionsprogrammen sprechen.

Unsere Darstellung beginnt mit der Analyse einzelner Investitionen. Auch innerhalb der Einzelanalyse kann man einfache und erweiterte Modelle unterscheiden. Bei den einfachen Modellen ist die Anzahl der zu bestimmenden Größen kleiner als bei den erweiterten Modellen. Demzufolge ist auch die Anzahl der gegebenen Größen bei den einfachen Modellen im Vergleich zu den erweiterten Modellen größer. Wird z.B. in einem Modell zur Bestimmung der Vorteilhaftigkeit einer Investition die Nutzungsdauer als gegebene Größe in das Modell eingeführt, so ist dieses Modell einfacher als ein anderes, bei dem die Nutzungsdauer zusätzlich zu bestimmen ist.

2. Die Vorteilsberechnung bei vorgegebener Nutzungsdauer

a) Die Berechnung der Vorteilhaftigkeit bei isolierter Betrachtung einer Investition

Das einfachste Modell zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer einzelnen Investition liegt vor, wenn folgende Daten

gegeben sind:

1. Die Nutzungsdauer des Investitionsprojektes
2. Die Auszahlungsreihe³²⁾ vom Anfang bis zum Ende der Nutzung
3. Die Einzahlungsreihe vom Anfang bis zum Ende der Nutzung
4. Ein Kalkulationszinsfuß als Maßstab der Vorteilhaftigkeit³³⁾.

Als Beispiel kann man sich eine beliebige Ausgabe (Auszahlung) vorstellen, die nach einiger Zeit zu einer Einnahme (= Einzahlung) führt. Sobald die beiden Vorgänge abgeschlossen sind, ist auch die Investition beendet. Eine erneute Verwendung der Einnahmen bleibt außer Betracht. Der Kalkulationszinsfuß dient dazu, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Zahlungen miteinander vergleichbar zu machen. Seine Verwendung beruht auf der Tatsache, daß bei zeitweiliger Überlassung von Geld Zinsen gezahlt werden. Mit der Erklärung dieser Erscheinung befaßt sich die Zinstheorie³⁴⁾. Wir nehmen die Zinszahlung zunächst als gegeben hin. Sobald nun zwei Zahlungen zu

32) Zu den Begriffen Auszahlung und Einzahlung der Investition vgl. Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 6 und S. 7. Die Begriffe Ausgabe und Auszahlung bzw. Einnahme und Einzahlungen werden hier synonym verwandt. Wir gehen nicht näher auf die Frage ein, ob für die Investitionsrechnung besser Ausgaben und Einnahmen oder Kosten und Erträge anzusetzen sind. Sie ist in der Literatur hinlänglich geklärt: Grundsätzlich ist mit Einnahmen und Ausgaben zu rechnen. Andernfalls muß eine Umwandlung stattfinden. Vgl. hierzu Lücke, Wolfgang, Investitionsrechnungen auf der Grundlage von Ausgaben oder Kosten? ZfhF, NF, 7. Jg. (1955), S. 310-324; und Philipp, F., Unterschiedliche Rechnungselemente in der Investitionsrechnung, In: ZfB, 30. Jg. (1960), S. 26-36.

33) Vgl. Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 22.

34) Vgl. Lutz, Friedrich, A., Zinstheorie, Zürich und Tübingen 1956, und die dort angegebene Literatur.

verschiedenen Zeitpunkten anfallen, muß die zeitliche Differenz durch einen Zinszuschlag oder -abschlag beseitigt werden, wenn man beide Zahlungen miteinander vergleichen will.

In den hier zu beschreibenden einfachsten Modellen wird der Kalkulationszinsfuß als bekannt vorausgesetzt. Im folgenden soll aber kurz erläutert werden, in welcher Weise dieser Zinsfuß zu bestimmen ist. Zu diesem Zwecke genügt nicht die Betrachtung der isolierten Einzelinvestition, sondern es ergibt sich zwangsläufig ein Vergleich zwischen mehreren Investitionen. Der Investor muß nämlich bei der Bestimmung des Kalkulationszinsfußes überlegen, welche alternative Anlagemöglichkeit er hat. Er kann z.B. sein Geld zur Sparkasse tragen, anstatt die zur Diskussion stehende Investition vorzunehmen. Infolgedessen wird er in diesem Falle nur dann investieren, wenn die erzielbare Verzinsung höher ist als der Sparzinssatz. Er wird den Sparzinssatz als Kalkulationszinssatz verwenden, wenn sich keine weitere Investitionsmöglichkeit bietet. Er hat aber dann im Grunde genommen bereits zwei Investitionen miteinander verglichen, von denen eine als Maßstab dient. Der Investor kann aber auch der Meinung sein, daß die Alternative zur geplanten Investition, z.B. die Sparanlage, die Hergabe seines Geldes nicht genügend honoriere. Er verlangt dann eine seinen persönlichen Präferenzen entsprechende höhere Mindestverzinsung und setzt diese als Maßstab.

Wir können demnach feststellen, daß die Anlage zum Kalkulationszinsfuß die Alternative zur jeweils geplanten Investition darstellt. An die Stelle einer speziellen Investitionsmöglichkeit, z.B. einer Sparanlage, tritt sozusagen die generelle Hypothese "Anlage zum Kalkulationszinsfuß".

Der Kalkulationszinsfuß kann aber noch einen anderen Bestimmungsgrund als den einer alternativen Anlagemöglichkeit haben. Setzen wir voraus, daß der Investor das Kapital zur Durchführung der Investition leihen muß, so wird er den Kredit dann aufnehmen, wenn durch die Investition mindestens die Zinsen erwirtschaftet werden, die er zu zahlen hat. Da der Kalkula-

tionszinsfuß aber entweder nur die alternative Anlagemöglichkeit oder den Kreditzinssatz repräsentieren kann, müsste sich der Investor für eines von beiden entscheiden.

Es liegt nahe, daß der Investor sich für den Kreditzinssatz als Kalkulationszinsfuß entscheidet, wenn er nicht genügend Kapital besitzt und die Mittel zur Durchführung der Investition in Form eines Darlehns aufnehmen muß. Indessen wird er aber auch dann die alternative Anlagemöglichkeit und nicht den Kreditzinssatz als Vergleichsmaßstab nehmen, wenn deren Verzinsung über dem Kreditzinssatz liegt. Der Investor wird in jedem Falle überlegen, ob er die in Frage stehende Investition oder ihre Alternative durchführen soll. Wenn der Zinssatz der alternativen Anlagemöglichkeiten höher ist als der Kreditzinssatz, muß er bei der Beurteilung der geplanten Investition vom Zinsertrag dieser Anlagemöglichkeit als Mindestverzinsung ausgehen. Ist jedoch der Kreditzinssatz höher als der Zinsertrag der Alternative, dann bestimmt dieser höhere Kreditzinssatz die Mindestverzinsung und damit den Kalkulationszinsfuß, weil auf jeden Fall die Zinsen der Kreditaufnahme erwirtschaftet werden müssen. Bei Finanzierung durch Kreditaufnahme gibt es also für den Kapitalisierungszinsfuß zwei Mindestwerte: den Zinsertrag der Alternative oder den Kreditzinssatz. Maßgebend ist jeweils der höhere von beiden. Der Kreditzinssatz spielt keine Rolle, wenn der Investor die Investition mit eigenem Kapital finanzieren kann. In diesem Falle ist allein der Zinssatz der alternativen Verwendung als Maßstab heranzuziehen.

Für Investitionsmodelle der geschilderten Art sind drei Methoden entwickelt worden: Die Diskontierungs- oder Kapitalwert-Methode, die Annuitätsmethode und die Interne-Zinsfuß-Methode.

aa) Die Kapitalwert-Methode

Bei Anwendung der Kapitalwert- oder Diskontierungs-Methode werden alle Einnahmen und Ausgaben mit dem Kalkulationszins-

fuß auf den Kalkulationszeitpunkt abgezinst. Übersteigt der Barwert der Einzahlungen den Barwert der Auszahlungen, so liegt ein positiver Kapitalwert vor. Die Investition ist vorteilhaft, weil die erzielte Verzinsung höher als der Kalkulationszinsfuß ist und damit die als Maßstab herangezogene Alternative "Anlage zum Kapitalisierungszinsfuß" überschritten wird.

bb) Die Annuitätsmethode

Die Annuitätsmethode baut auf der Kapitalwert-Methode auf. Sie wandelt die errechneten Kapitalwerte der Einnahmen und Ausgaben um. Die Einnahmen- und Ausgabenreihe, die durch die Umwandlung entsteht, muß den Kapitalwerten der Einnahmen und Ausgaben gleichwertig (äquivalent) sein. Ferner müssen die einzelnen Glieder einander gleich (uniform) sein. Man erreicht die Umwandlung eines Kapitalwertes in eine solche uniforme äquivalente Reihe mittels des Wiedergewinnungsfaktors. Diesen Faktor kann man sich sehr einfach aus der Bedingungsgleichung $(1) a_1(1+i)^{-1} + \dots + a_n(1+i)^{-n} = x(1+i)^{-1} + \dots + x(1+i)^{-n}$ ableiten³⁵⁾. a_1 bis a_n sind in der Gleichung die unterschiedlichen Periodenüberschüsse; $i = \frac{p}{100}$; p = Kalkulationszinsfuß; x ist die gleichbleibende Annuität.

Die Annuitätsmethode ist ihrem Wesen nach mit der Kapitalwertmethode identisch. Sie kann als eine Umwandlung des Ergebnisses der Kapitalwert-Methode bezeichnet werden. Statt der auf einen Zeitpunkt bezogenen Einnahmen und Ausgaben einer Investition werden die Einnahmen und Ausgaben auf einen Zeitraum verteilt. In jeder Unterperiode dieses Zeitraumes stehen sich dann vergleichbare Einnahmen- und Ausgabenteilbeträge gegenüber. Greift man ein Jahr als Unterperiode heraus, so stehen sich durchschnittlich jährliche Einnahmen und Ausgaben gegenüber. Liegen die durchschnittlichen Jahreseinnahmen über den durchschnittlichen Jahresausgaben, so ist die geplante Investition vorteilhaft. In den Fällen, in denen die Einnahmen und Aus-

35) Vgl. hierzu auch Kosiol, Erich, Wirtschaftsrechnen und Finanzmathematik, In: HcW, Bd. I, S. 861-866. Kosiol bezeichnet den Wiedergewinnungsfaktor als Annuitätenfaktor.

gaben von vornherein gleichmäßig über denselben Zeitraum verteilt sind, kann die Umrechnung auf Barwerte und die Rückrechnung auf uniforme, den Barwerten äquivalente Glieder selbstverständlich unterbleiben. Deshalb bezeichnet Schneider auch lediglich den Vergleich der Durchschnittseinnahmen mit den Durchschnittsausgaben und nicht den Umwandlungsvorgang als Annuitätsmethode³⁶⁾.

Die Annuitätsmethode kann als theoretische Grundlage der in der Praxis üblichen Vergleiche von Jahreswerten bezeichnet werden. Sie macht aber deutlich, daß dabei die Jahresglieder untereinander gleich sein müssen und daß derselbe Zeitraum bei den Ausgaben und Einnahmen zugrunde liegen muß.

cc) Die Interne-Zinsfuß-Methode

Bei Anwendung der Interne-Zinsfuß-Methode zinst man die Ein- und Auszahlungen auf dem Zinsfuß ab, bei dem der Kapitalwert der Investition null wird. Der Zinsfuß, der diese Bedingung erfüllt, wird als interner Zinsfuß (internal rate of return) bezeichnet. Die Investition ist dann vorteilhaft, wenn der interne Zinsfuß über dem Kalkulationszinsfuß liegt.

Der rechentechnische Nachteil der Internen-Zinsfuß-Berechnung besteht zunächst einmal darin, daß man die Bedingungsgleichung, bei der die diskontierten Einnahmen gleich den diskontierten Ausgaben zu setzen sind, nicht nach i (= Zinsfuß) auflösen kann. Das läßt sich am folgenden Beispiel zeigen:

Besteht die Investition aus einer Anfangsausgabe A und später anfallenden Einnahmen $g_1, g_2, \dots, g_n$, so hat die Bedingungsgleichung zur Errechnung des internen Zinsfußes die Form

$$(1) A = g_1 (1+i)^{-1} + \dots + g_n (1+i)^{-n}.$$

36) Vgl. Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 26.

Wenn $g_1 = g_2 = \dots g_n$, so läßt sich die Gleichung auf

$$(2) \frac{A}{g} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

reduzieren³⁷⁾. Der interne Zinsfuß läßt sich durch Probieren finden. Wenn $g_1 \neq g_2 \dots \neq g_n$, bleibt die Bedingungsgleichung in der Ausgangsform bestehen. Der Probiervorgang ist dann erheblich langwieriger. Es ergibt sich aber immer eine eindeutige Lösung.

Die Berechnung des internen Zinsfußes bereitet weitere Schwierigkeiten, wenn die ersten Einnahmenüberschüsse zeitlich vor den ersten Ausgaben liegen. Das kann beispielsweise vorkommen, wenn vor der Anschaffung einer Maschine, welche zur Durchführung eines Auftrags beschafft werden soll, vom Auftraggeber

$$37) (I) \quad A = \frac{g}{(1+i)} + \frac{g}{(1+i)^2} \dots + \frac{g}{(1+i)^n} \quad | \cdot (1+i)$$

$$(II) \quad A (1+i) = g + \frac{g}{(1+i)} \dots \frac{g}{(1+i)^{n-1}}$$

$$(II - I) \quad A + Ai - A = g \frac{g}{(1+i)^n}$$

$$Ai = g \left[1 - \frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

$$\frac{Ai}{g} = 1 - \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

$$\frac{A}{g} = \frac{1}{i} \left[1 - \frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

eine Anzahlung geleistet wird. Es ist sogar denkbar, daß sich Einnahmenüberschüsse und Ausgabenüberschüsse während der Laufzeit der Investition ständig abwechseln.

Der Kapitalwert einer Investition mit einem auf diese Art wechselnden Zahlungsverlauf hängt nicht mehr in gleicher Weise vom Zinsfuß ab, wie es bei den üblichen Investitionen der Fall ist. Mit wachsendem Zinssatz sinkt der Kapitalwert nicht mehr ständig, um schließlich den Wert Null anzunehmen.

Massé drückt diesen Sachverhalt folgendermaßen aus³⁸⁾: Die Funktion $B(i) = 0$, in der B der Kapitalwert und i der interne Zinsfuß ist, lege den internen Zinsfuß fest. Bei einer Abfolge von n Wechseln zwischen den Einnahmen- und Ausgabenüberschüssen ergebe die Funktion eine Gleichung n -ten Grades mit n Lösungen. Die Lösungen könnten positiv, negativ, null oder imaginär werden.

Massé versucht dann nachzuweisen, daß doch nur eine einzige relevante Lösung existiere. Er geht von der Feststellung aus, daß der Kapitalwert B einer Investition negativ sei, wenn der Zinsfuß unendlich groß ist, und daß er positiv sei, wenn der Zinsfuß nur etwas größer als minus eins ist³⁹⁾. Die Aussage, der Kapitalwert sei negativ, sobald der Zinsfuß gegen unendlich gehe, beweist aber, daß Massé gerade nicht die Fälle der atypischen Investition einbezieht. Für diese läßt sich nämlich keineswegs ausschließen, daß der Kapitalwert bei unendlich hohem Zinsfuß positiv wird. Das gilt z.B. für die oben beschriebene Anzahlung.

Wir wollen einen Fall wechselnder Zahlungsströme untersuchen und überlegen, auf welche Weise der richtige interne Zinsfuß

38) Vgl. Massé, Pierre, Le Choix des Investissements, Paris 1959, S. 20 - 22.

39) Vgl. hierzu auch Lesourne, Jacques, Unternehmensführung und Unternehmensforschung, München-Wien 1964, S. 532.

bestimmt werden kann. Heister führt das Beispiel einer Investition an, die aus den Zahlungsströmen

- 1000 (Auszahlung im Kalkulationszeitpunkt)
- + 2200 (Einzahlung am Ende des ersten Jahres)
- 1170 (Auszahlung am Ende des zweiten Jahres)

besteht⁴⁰⁾. Diese Investition hat zwei Zinsfüße, bei deren Anwendung der Kapitalwert Null wird, nämlich - 10% und + 30%. Eine Erhöhung dieser Zinssätze (etwa auf - 9% und auf + 31%) hat außerdem die Wirkung, daß der Kapitalwert steigt.

Für derartige Investitionen ist der interne Zinsfuß ein ungeeignetes Auswahlkriterium. Aber auch der Kapitalwert sagt in diesem Beispiel wenig aus. Der Kalkulationszinsfuß, der als Maßstab der Wirtschaftlichkeit dienen soll, führt für unser Beispiel in dem Intervall von 3% bis 15% jeweils zu fast dem gleichen Kapitalwert. Wenn aber die Variation des Maßstabes nichts an der Position der Investition ändert, so ist die Investition offenbar nicht mit diesem Maßstab meßbar.

Die Beurteilung derartiger Investitionen kann nur aufgrund einer Ergänzung der Zahlungsströme durch zusätzliche Angaben erreicht werden. Stellt sich beispielsweise heraus, daß in unserem Falle die Einzahlung von + 2.200 Geldeinheiten vom Ende des ersten bis zum Ende des zweiten Jahres zu 10% angelegt werden kann, dann ergibt sich daraus ein Zahlungsstrom, dem wieder eindeutig ein interner Zinsfuß zugeordnet werden kann. Durch saldieren der Zahlungen erhält man dann nämlich einen Zahlungsverlauf, der aus einer Auszahlung von 1.000 Geldeinheiten im Kalkulationszeitpunkt und einer Einzahlung von 1.250 Geldeinheiten am Ende des zweiten Jahres besteht. Ohne eine solche zusätzliche Angabe und Berechnung kann die Rendite der Investition nicht bestimmt werden.

40) Vgl. Heister, Matthias, Die Rentabilitätsanalyse von Investitionen, Köln und Opladen 1962, S. 91.

dd) Vergleich der Rechnungsmethoden

Im Zusammenhang mit der Vorteilsberechnung einer einzigen Investition bei gegebenen Ein- und Auszahlungen und gegebenem Kalkulationszinsfuß sind die drei Methoden identisch, führen also zum selben Ergebnis⁴¹⁾. Es ist nur darauf zu achten, daß die genannten Voraussetzungen wirklich erfüllt sind. Das trifft nicht zu, wenn man verschiedenartige Investitionsmöglichkeiten miteinander vergleicht, z.B. eine einzelne Investition, bei der die Nutzungsdauer variabel ist oder mehrere Investitionen mit unterschiedlichen Ein- und Auszahlungen. In diesen Fällen führen die Methoden, wie noch gezeigt werden wird, nicht zum selben Ergebnis, weil ihre Prämissen nicht mehr miteinander übereinstimmen.

Bei den bisher beschriebenen einfachsten Modellen - Analyse einer isoliert betrachteten Einzelinvestition - stimmen zwar die Ergebnisse der Methoden inhaltlich überein; die Lösung liegt aber jeweils in einer ganz anderen Form vor. Bei der Kapitalwert-Methode ermitteln wir den Gegenwartswert, der einer Investition im Kalkulationszeitpunkt zukommt. Bei der Annuitätsmethode erscheint das Ergebnis als eine Jahresrate, die die Verzinsung des Kapitaleinsatzes in Form absoluter Beträge zum Ausdruck bringt. Die Interne-Zinsfuß-Methode ermittelt die effektive Verzinsung des Kapitaleinsatzes; die Zahlungsströme werden dabei so umgerechnet, als erfolge der Kapitaleinsatz am Anfang der Nutzungsdauer in einer Summe und der Rückfluß am Ende der Nutzungsdauer ebenfalls in einer Summe. Der interne Zinsfuß läßt sich unmittelbar mit dem Zinssatz einer Finanzanlage vergleichen und ist deshalb besonders anschaulich.

41) Vgl. Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 26.

b) Die Berechnung der Vorteilhaftigkeit einer Investition
bei Einbeziehung konkurrierender Investitionen

Das einfache Modell, bei dem eine Investition isoliert von allen anderen Möglichkeiten auf Grund gegebener Ein- und Auszahlungen und eines gegebenen Kalkulationszinsfußes zu beurteilen ist, reicht zur Lösung der Investitionsprobleme in der Praxis meist nicht aus. Deshalb ist eine Modellerweiterung erforderlich.

In der Regel wird man auf jeden Fall konkurrierende Investitionen in die Überlegungen einbeziehen müssen. Es handelt sich dann um einen Vergleich mehrerer Investitionen und man kann fragen, ob dann noch eine Einzelanalyse vorliegt. Das ist zu bejahen, da es bei einem solchen Modell darum geht, eine einzige von mehreren sich gegenseitig ausschließenden Investitionen auszuwählen. Gegenstand des Modells ist also letztlich die einzelne Investition, die ausgewählt wird. Das Gegenstück zu den so charakterisierten Modellen der Einzelanalyse bilden diejenigen Modelle, die sich mit der Zusammenstellung eines Investitionsprogramms befassen. Dabei geht es um die Auswahl von Investitionen, die sich nicht gegenseitig ausschließen, sondern sich ergänzen und nebeneinander ausgeführt werden sollen.

Bei den folgenden Modellen, welche die konkurrierenden Investitionsmöglichkeiten einbeziehen, wird für jede Alternative die Nutzungsdauer als gegeben angenommen. Die Modelle, bei denen die Bestimmung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer gleichzeitig mit der Berechnung der Vorteilhaftigkeit erfolgt, werden anschließend behandelt.

aa) Darstellung der Methoden

(1) Die Kapitalwert-Methode

Will man aus einer Anzahl von konkurrierenden Investitionsobjekten die vorteilhafteste Investition herausfinden, so kann

man sich wiederum der Kapitalwert- oder Diskontierungs-Methode bedienen. Zu ihrer Darstellung genügt es, wenn man sich auf den Vergleich zweier Investitionen beschränkt⁴²⁾.

Gegenüber der Vorteilsberechnung einer einzelnen Investition tritt folgende Besonderheit ein: Neben den eigentlichen Investitionen, die miteinander verglichen werden sollen, kommen sogenannte Differenzinvestitionen vor, die in irgendeiner Form berücksichtigt werden müssen, weil sie Einfluß darauf haben, welche der beiden Investitionen vorteilhafter ist bzw. wie groß der Vorteilsunterschied ist⁴³⁾.

Wir wollen anhand von Beispielen erläutern, was Differenzinvestitionen sind und in welcher Form sie auftreten.

Beispiel 1:

Eine Investition in Gestalt einer Ausgabe von DM 1.000 jetzt und einer Einnahme von DM 1.900 in 10 Jahren konkurriert mit einer Investition in Gestalt einer Ausgabe von DM 700 jetzt und einer Einnahme von DM 1.300 in 10 Jahren. Bei einem Kalkulationszinsfuß von 6% erweist sich die erste Investition mit einem Kapitalwert von DM 111 gegenüber der zweiten Investition mit einem Kapitalwert von DM 25 als günstiger. Dabei bleibt aber unberücksichtigt, daß der Investor, wenn er die zweite Investition wählt, noch DM 300 gegenüber der ersten Ausgabe zur Verfügung hat. Diese Differenzinvestition von DM 300

-
- 42) Vgl. Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 43.
- 43) Auf die Bedeutung der Differenzinvestitionen haben Solomon und Moxter aufmerksam gemacht. Vgl. Solomon, Ezra, The Arithmethic of Capital Budgeting Decisions, In: Solomon Ezra (Hrsg.) The Management of Corporate Capital, Chicago 1959, S. 74-79; Moxter, Adolf, Der Einfluß der Amortisationsgeschwindigkeit auf die unternehmerische Investitionsentscheidung, In: ZfhF, NF, 11. Jg. (1959), S. 541-562. Vgl. auch Heister, Mathias, Rentabilitätsanalyse, S. 36-41. Er bezeichnet die Differenzinvestitionen als Supplementinvestitionen und teilt sie in Zeit- und Zahlungssupplemente ein.

würde möglicherweise das Ergebnis ändern. Wenn z.B. die Differenzinvestition mit einer Ausgabe von DM 300 jetzt eine Einnahme von DM 650 in 10 Jahren bewirken könnte, so wären die Einnahmen auf Grund der zweiten Investition zuzüglich der Einnahmen auf Grund der Differenzinvestition auf DM 1.950 angewachsen, während die Einnahmen aus der ersten Investition nur DM 1.900 betragen. Es zeigt sich, daß die Vergleichsrechnung ohne Berücksichtigung der Differenzinvestition unvollständig ist.

Beispiel 2:

Eine Investition in Gestalt einer Ausgabe von DM 1.000 jetzt und einer Einnahme von DM 1.900 in 10 Jahren konkurriert mit einer Investition in Gestalt einer Ausgabe von DM 1.000 jetzt und einer Einnahme von DM 600 in 5 Jahren und weiteren DM 1.000 in 10 Jahren. Bei einem Kalkulationszinsfuß von 6% erweist sich die erste Investition mit einem Kapitalwert von DM 111 gegenüber der zweiten Investition mit einem Kapitalwert von nur DM 6,70 als günstiger. Bei der zweiten Investition stehen aber bereits nach 5 Jahren DM 600 zur Verfügung, die bis zum Ablauf der für die erste Alternative geltenden Zehnjahresperiode, also noch weitere 5 Jahre, angelegt werden können. Die Differenz muß wie im ersten Beispiel in die Vergleichsrechnung einbezogen werden.

Beispiel 3:

Eine Investition in Gestalt einer Ausgabe von DM 1.000 jetzt und einer Einnahme von DM 1.791 nach 10 Jahren konkurriert mit einer Investition in Gestalt einer Ausgabe von DM 1.000 jetzt und mit einer Einnahme von DM 1.419 nach 6 Jahren. Bei einem Kalkulationszinsfuß von 6% sind die Kapitalwerte beider Alternativen gleich Null. Sie sind insoweit gleichwertig. Wählt man jedoch die zweite Alternative, so stehen gegenüber der ersten Alternative bereits nach 6 Jahren DM 1.419 für weitere 4 Jahre zur Verfügung. Auch hier ist also wiederum die Möglichkeit einer Differenzinvestition zu berücksichtigen.

Man kann, wie die Beispiele zeigen, verschiedene Formen von Differenzinvestitionen unterscheiden, je nachdem, welche Komponenten bei den Alternativen, die miteinander verglichen werden sollen, voneinander abweichen; die einzelnen Formen entstehen dadurch, daß

1. die Investitionsausgaben der einzelnen Alternativen am Anfang der Investitionsperiode voneinander abweichen,
2. die Investitionsdauer der Alternativen nicht gleich lang ist,
3. die Einnahmen und Ausgaben unterschiedlich über die Investitionsdauer verteilt sind.

Bei Kombinationen dieser Merkmale erhalten wir weitere Formen der Differenzinvestitionen.

Eine wirklichkeitsnahe Vergleichsrechnung müsste die Einnahmen aus Differenzinvestitionen einbeziehen. Das bereitet aber deshalb Schwierigkeiten, weil man häufig die Möglichkeiten für eine Anlage von Differenzbeträgen nicht kennt und weil man die Anlage der Einnahmen, die man aus ihnen bezieht, wiederum berücksichtigen müsste, und zwar für den ganzen Zeitraum, den die Konkurrenzinvestition umspannt. Zur Behebung dieser Schwierigkeiten bedient sich die Theorie eines Kunstgriffs. Sie geht davon aus, daß Differenzinvestitionen den Kapitalwert der Ausgangsinvestition dann nicht beeinflussen, wenn ihr Kapitalwert Null ist. Diese Voraussetzung ist dann gegeben, wenn sämtliche Differenzinvestitionen jeweils zum Kalkulationszinsfuß angelegt werden. Bei einer solchen Annahme können die Differenzinvestitionen aus dem Vergleich ausgeklammert werden, weil ihre Kapitalwerte dann Null sind⁴⁴⁾. Die Vergleichsrechnung kann sich also auf die Gegenüberstellung der Kapitalwerte der beiden konkurrierenden ursprünglichen Investitionen beschränken.

44) Vgl. Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 34.

Bei der Erörterung des einfachsten Modells der Einzelanalyse hat sich gezeigt, daß der Kalkulationszinsfuß gleich der vom Investor geforderten Mindestverzinsung ist. Diese bestimmt der Investor entweder anhand der alternativen Anlagemöglichkeit oder nach dem Zinssatz für aufgenommene Kredite, oder er verlangt für die Hergabe seines Geldes einen noch höheren, subjektiv bestimmten Zinssatz, weil etwa die alternative Anlagemöglichkeit keinen ausreichenden Anreiz zur Investition bietet⁴⁵⁾. Der Kalkulationszinsfuß muß aber andererseits beim Vergleich zweier Investitionen mit den realen Anlagemöglichkeiten, d.h. mit der erzielbaren Verzinsung für die Differenzinvestitionen, übereinstimmen; andernfalls eliminiert man unzulässigerweise echte Vor- oder Nachteile aus der Vorteilsrechnung. Es zeigt sich hier ein Widerspruch. Einmal soll der Kalkulationszinsfuß frei bestimmt werden können, andererseits soll er der erzielbaren Verzinsung der Differenzinvestitionen entsprechen. Dieser Widerspruch⁴⁶⁾ erweist sich bei näherer Betrachtung als weniger gravierend, als es zunächst scheint. Zwar kann der Investor die geforderte Mindestverzinsung auch subjektiv bestimmen. Er wird aber nicht willkürlich handeln und nur das an Mindestverzinsung ansetzen, was er auch wirklich bei anderweitiger Anlage erhalten könnte. Auch die Differenzinvestitionen werden dann mindestens diese Verzinsung erzielen können. Solange man allerdings die Möglichkeit unterstellt, daß die Verzinsung der Differenzinvestitionen die Mindestverzinsung übersteigt, beeinflussen die Differenzinvestitionen das Ergebnis weiterhin. Das Modell wäre insofern offen. Es schließt sich jedoch, wenn man eine weitere Prämisse hinzufügt: es genügt nicht die Möglichkeit, jederzeit zum Kalkulationszinsfuß Kapital anlegen zu können; es muß auch möglich sein, sich jederzeit zum Kalkulationszinsfuß Kapital zu beschaffen. Ist bei einem bestimmten Kalkulationszinsfuß auch

45) Vgl. unsere Ausführungen auf S. 28 und 29.

46) Auf diese Diskrepanz hat u.a. Schindler hingewiesen. Vgl. Schindler, Heinz, Investitionsrechnungen in Theorie und Praxis, S. 130-138, bes. S. 135.

diese Bedingung erfüllt, so sind die Differenzinvestitionen endgültig aus dem Vergleich eliminiert⁴⁷⁾. Beispiel 1 zeigt das deutlich: Ergäbe sich für die Differenzinvestition von DM 300 eine Anlagemöglichkeit, deren Verzinsung über dem Kalkulationszinsfuß läge, so könnte der Investor diese Differenzinvestition neben der geplanten Investition von DM 1.000 durchführen, da er das zusätzliche Kapital zum Kalkulationszinsfuß aufnehmen kann. Angenommen, die Differenzinvestition bringe 10% und der Leihzinsfuß (= Kalkulationszinsfuß) sei 6%, dann fließt dem Investor zusätzlich die Zinsdifferenz von 4% zu. Das ist aber auch dann der Fall, wenn er sich für die andere Alternative, d.h. für die Durchführung der zweiten Investition von DM 700 zuzüglich der Differenzinvestition von DM 300 entscheidet. In beiden Fällen addiert sich zum Kapitalwert der Ausgangsinvestition die 4%ige Verzinsung der Differenzinvestition. Für die Entscheidung genügt es daher, die Kapitalwerte der Ausgangsinvestitionen festzustellen und zu vergleichen. Die Differenzinvestition braucht bei den gesetzten Prämissen nicht berücksichtigt zu werden.

Mit der Annahme, jederzeit jeden beliebigen Betrag zum Kalkulationszinsfuß sowohl anlegen als auch beschaffen zu können, wird das Kapitalwert-Modell des Vorteilsvergleichs mehrerer konkurrierender Investitionen ein geschlossenes Modell. Allerdings verlagern sich die Schwierigkeiten nunmehr auf die Bestimmung des Kalkulationszinsfußes⁴⁸⁾. Es dürfte kaum möglich sein, einen Zinsfuß exakt zu bestimmen, der allen genannten Bedingungen gerecht wird. Dieser Zinsfuß muß nämlich in dem beschriebenen Modell nicht nur der geforderten Mindestverzin-

47) Vgl. hierzu auch Jacob, H[erbert], Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung, In: ZfB, 34. Jg. (1964), S. 487-507 und 551-594, hier S. 492; Fußnote 2).

48) Vgl. hierzu den Versuch von Moxter, Adolf, Die Bestimmung des Kalkulationszinsfußes bei Investitionsentscheidungen, In: ZfhF, NF, 13. Jg. (1961), S. 186. Moxter bestimmt den Kalkulationszinsfuß durch die Gegenüberstellung der nach ihren internen Zinsfüßen geordneten Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten. Auf die Problematik dieses Verfahrens werden wir bei der Bestimmung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer näher eingehen. Vgl. S. 74-87.

sung entsprechen, sondern auch für alle Anlage- und Finanzierungsmöglichkeiten zutreffen. Das ist nur vorstellbar bei Annahme eines vollkommenen Kapitalmarktes, auf dem jede Kapitalmenge zu einem einheitlichen Zinsfuß beschafft und angelegt werden kann. Wir nehmen zunächst diese Annahme als gegeben hin, werden aber später prüfen, wie man sie durch die wirklichen Gegebenheiten ersetzen kann.

(2) Die Annuitätsmethode

Die Annuitätsmethode bringt beim Vergleich von zwei oder mehreren Investitionen gegenüber der Diskontierungsmethode keine neuen Probleme. Man bildet den Kapitalwert der Alternativen und konstruiert daraus äquivalente uniforme Reihen, deren Glieder man miteinander vergleicht. Dabei ist ein Kalkulationszinsfuß zugrunde zu legen, der die gleichen Eigenschaften hat, wie der Zinsfuß der Diskontierungsmethode. Eine Überprüfung der Annuitätsmethode läßt aber besonders klar die Grenzen für die Anwendung solcher einfacher Modelle erkennen.

Kostenvergleiche und ähnliche Vergleiche, die theoretisch nichts anderes sind, als Vergleiche der Glieder von zwei oder mehr uniformen, äquivalenten Reihen⁴⁹⁾ - jedenfalls sollten sie es sein - können nur dann als Beurteilungsmaßstab dienen, wenn die Reihen den gleichen Zeitraum umfassen. Sind die Reihen unterschiedlich lang, z.B.

	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr
Reihe I	100	100	100	-
Reihe II	90	90	90	90

dann genügt ein Vergleich der beiden Periodengrößen 90 und 100 nicht, da diese Größen nicht repräsentativ für die beiden Investitionen sind⁵⁰⁾. Sie wären es nur unter der Annahme, daß

49) Vgl. die Ausführungen zur Annuitätsmethode auf S. 31.

50) Vgl. hierzu auch Jacob, H[erbert], S. 493.

sich nach Abschluß der Investitionen neue Investitionen durchführen ließen, die ad infinitum die gleichen uniformen Glieder hätten wie die Ausgangsreihen. Soll der Vergleich jedoch nur die Ausgangsinvestitionen umfassen, so müssen die Reihen auf den gleichen Zeitraum bezogen werden. In unserem Beispiel muß also eine Umrechnung der Reihe I auf 4 Jahre oder der Reihe II auf 3 Jahre erfolgen. Erst dann zeigt der Vergleich eines Gliedes der Reihe I mit einem Glied der Reihe II, welche Investition vorteilhaft ist.

Unser Beispiel zeigt, daß das auf der Annuitätsmethode aufbauende Modell für den Vergleich von zwei oder mehreren Alternativen einen zu kleinen Ausschnitt aus der Wirklichkeit liefert. Eine Erweiterung könnte in der Weise erfolgen, daß man die "Anschlußinvestitionen" in das Modell einbezieht. Dies geschieht z.B. bei Kostenvergleichen durch die (oft unausgesprochene) Annahme, die Kosten der gegenwärtigen Periode für eine Anlage seien auch für die Folgeperioden⁵¹⁾ gültig. Diese Überlegungen bilden die Überleitung zur Behandlung von Modellen, in denen ganze Investitionsketten analysiert werden. Allerdings wird dabei im Gegensatz zu den üblichen Kostenvergleichen die Prämisse über die erwartete zukünftige Entwicklung klar ausgesprochen und in möglichst naher Anlehnung an die Realität formuliert werden.

(3) Die Interne-Zinsfuß-Methode

Die Anwendung der Internen-Zinsfuß-Methode verursacht beim Vergleich von zwei und mehr konkurrierenden Investitionen zusätzliche Schwierigkeiten. Wie am Beispiel der Diskontierungsmethode deutlich wurde, besteht das methodische Problem darin, die Differenzinvestitionen aus dem Vorteilsvergleich herauszutrennen. Dies gelang bei der Kapitalwert-Methode mit Hilfe bestimmter Annahmen über den Kalkulationszinsfuß. Bei der Internen-Zinsfuß-Methode genügen diese Annahmen nicht, die

51) Vgl. hierzu auch Schindler, Heinz, Investitionsrechnungen, S. 104.

Differenzinvestitionen aus dem Vergleich auszuklammern. Das zeigt sich bei der Überprüfung des folgenden Beispiels. Nehmen wir an, die Auswahl sei zwischen folgenden Alternativen zu treffen:

	Anschaffungsbetrag	Interner Zf.
Alternative 1	1 000	8 %
Alternative 2	700	10 %

Die Nutzungsdauer sei bei beiden Alternativen gleich; der Einfachheit halber soll sie ein Jahr betragen. Zur Vollständigkeit des Modells müssen noch Annahmen über die Kapitalmarktsituation eingeführt werden; wir unterstellen einen vollkommenen Kapitalmarkt, so daß also zu einem einheitlichen Zinssatz beliebige Beträge beschafft und angelegt werden können. Dieser Marktzinsfuß entspricht dem Kalkulationszinsfuß der Kapitalwert-Methode.

Die beiden Alternativen können nicht unmittelbar miteinander verglichen werden, weil der Kapitaleinsatz unterschiedlich ist. Man muß deshalb versuchen, eine einheitliche Kapitalbasis zu finden. Das kann auf zwei Arten geschehen:

1) Man legt die Alternative mit dem geringsten Kapitaleinsatz zu Grunde (hier Alternative 2) und fragt, wie sich der Übergang zu der kapitalintensiveren Alternative und der damit verbundene Mehreinsatz an Kapital (in unserem Beispiel 300 Geldeinheiten) auf den Zinsertrag auswirkt⁵²⁾.

2) Man legt die Alternative mit dem höchsten Kapitaleinsatz zu Grunde (hier Alternative 1) und fragt, zu welchem Zinssatz sich der frei werdende Betrag anlegen läßt, wenn man zu der Alternative mit dem geringeren Kapitaleinsatz übergeht.

52) Diese Berechnung entspricht der Differenzmethode von Erich Schneider. Vgl. Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 38 und 39.

Zu 1): Hier ist zunächst zu prüfen, welcher Mehreinsatz an Kapital sich beim Übergang zu der kapitalintensiveren Alternative ergibt und welche Mehreinnahmen dadurch erzielt werden. Zu diesem Zwecke zieht man die Zahlungen der Alternative mit dem geringsten Kapitaleinsatz von den Zahlungen der kapitalintensiveren Alternative ab:

	Auszahlung	Einzahlung
Alternative 1	1 000	1 080
Alternative 2	<u>700</u>	<u>770</u>
	300	310

Beim Übergang von Alternative 2 zu Alternative 1 erbringt der Mehreinsatz von 300 Geldeinheiten eine Mehreinnahme von 310 Geldeinheiten. Der Zinsertrag des Mehreinsatzes von 300 Geldeinheiten ist also 10 Geldeinheiten; das entspricht einem internen Zinsfuß von $3 \frac{1}{3} \%$. Wenn der Marktzinsfuß beispielsweise 6% beträgt, lohnt sich der Übergang offenbar nicht, da bei der Entscheidung für Alternative 2 der Differenzbetrag von 300 Geldeinheiten voraussetzungsgemäß zum Marktzinsfuß angelegt werden kann und dann 6% statt nur $3 \frac{1}{3} \%$ erbringt.

Zu 2): Der Betrag, der beim Übergang von der kapitalintensiveren zur weniger Kapital erfordernenden Alternative frei wird, ergibt sich aus der Differenz des Kapitaleinsatzes beider Alternativen. Der Differenzbetrag kann also anderweitig angelegt werden. In unserem Beispiel kommt nur eine Anlage auf dem Kapitalmarkt in Frage, weil keine sonstigen Anlagemöglichkeiten vorhanden sind. Da der Übergang von Alternative 1 zu Alternative 2 diese Differenzinvestition erst ermöglicht, müssen nun Alternative 1 auf der einen Seite und Alternative 2 zuzüglich der Differenzinvestition auf der anderen Seite einander gegenübergestellt werden. Es zeigt sich dann, welche Alternative vorzuziehen ist.

	Auszahlung	Einzahlung	Interner Zinsfuß
Alternative 1	1 000	1 080	8 %
Alternative 2	700	770	10 %
Differenz- Investition	<u>300</u>	<u>318</u>	6 %
	1 000	1 088	8,8 %

In unserem Beispiel ist Alternative 2 vorzuziehen, weil sich hier zusammen mit der Differenzinvestition eine Verzinsung von 8,8 % ergibt gegenüber nur 8% bei Alternative 1.

Beide Arten der Rechnung führen zum selben Ergebnis; sie unterscheiden sich also nicht materiell, sondern nur formal. Wir sehen aber an unserem Beispiel, daß die Verzinsung des Differenzbetrages letztlich den Ausschlag dafür gibt, welche der beiden Alternativen vorzuziehen ist.

Es werden allerdings bei der Berechnung der Verzinsung der Differenzinvestition Schwierigkeiten auftauchen, sobald die aus der Subtraktion resultierenden Differenzbeträge eine Zahlungsreihe mit wechselnden Vergleichen ergeben. Eine solche Zahlungsreihe kommt einer Investition gleich, bei der sich Einzahlungs- und Auszahlungsüberschüsse gegenseitig abwechseln. Wir haben bereits gezeigt, daß in solchen Fällen kein interner Zinsfuß ohne ergänzende Angaben errechnet werden kann⁵³⁾.

In unserem Beispiel wurde die Differenzinvestition in die Rechnung mit einbezogen. Wir hatten uns jedoch die Aufgabe gestellt, zu untersuchen, ob es möglich ist, die Differenzinvestitionen aus dem Vergleich auszuklammern. Die Differenzinvestitionen können auf jeden Fall weggelassen werden, wenn ihre Verzinsung die gleiche ist wie die der weniger kapitalintensiven Alternative. Würde etwa die Differenzinvestition unseres Beispiels die gleiche Verzinsung abwerfen wie die Al-

53) Vgl. unsere Ausführungen auf S. 35 und 34.

ternative 2, also 104, dann ergäbe sich für die Alternative 2 zuzüglich der Differenzinvestition die gleiche Verzinsung wie für Alternative 2 allein. Man könnte daher die Differenzinvestition unbeachtet lassen. Es würde ausreichen, die internen Zinsfüße der beiden Alternativen miteinander zu vergleichen und daraufhin die Entscheidung zu fällen. Weicht die Verzinsung des Differenzbetrages aber vom internen Zinsfuß der Alternative mit dem geringeren Kapitaleinsatz ab, dann müsste man die Verzinsung der Differenzinvestition bei einer exakten Berechnung berücksichtigen.

Nun ist aber nicht immer eindeutig feststellbar, welche Alternative kapitalintensiver ist. Das kommt vor, sobald im Zeitablauf mehrere Differenzbeträge auftreten, wobei zu verschiedenen Zeitpunkten einmal die eine Alternative und einmal die andere Alternative einen höheren Kapitaleinsatz erfordern kann. Außerdem ergeben sich aus den Differenzinvestitionen neue Differenzbeträge, die ebenfalls berücksichtigt werden müssten. Es wäre deshalb erwünscht, wenn man auch bei der Internen-Zinsfuß-Methode den Einfluß der Differenzinvestitionen ausschalten könnte. Das ist aber nur möglich, wenn man von der Prämisse ausgeht, daß alle Differenzbeträge, die sich im Vergleich zu anderen Investitionsmöglichkeiten ergeben, sowie alle späteren Rückflüsse einer Investition ebenfalls zum internen Zinsfuß der Ausgangsinvestition angelegt werden können⁵⁴⁾. Das bedeutet, daß der interne Zinsfuß einer Investition für alle möglichen Folgeinvestitionen Geltung hätte. Wir wollen das kurz an unserem Beispiel erläutern:

Wir können davon ausgehen, daß in unserem Beispiel 1.000 Geldeinheiten zur Verfügung stehen. Andernfalls könnte die Alternative 1 von vornherein nicht durchgeführt werden. Bei Realisierung der Alternative 1 werden die 1.000 Geldeinheiten zu 8% angelegt. Die Rückflüsse können aber auf Grund unserer Annahme nach einem Jahr ebenfalls nur zu 8% angelegt werden. Es

54) Vgl. hierzu auch die Ausführungen bei Albach, Horst, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 34.

wird also stillschweigend vorausgesetzt, daß sich der Zinssatz von 8% auch bei den Folgeinvestitionen der Zukunft nicht mehr ändern wird; denn nur unter diesen Voraussetzungen kann man Alternative 1 anhand dieses einen Zinssatzes von 8% beurteilen.

Bei Durchführung der Alternative 2 stehen die gleichen 1.000 Geldeinheiten zur Verfügung wie bei Alternative 1. 700 Geldeinheiten werden für ein Jahr gebunden und werfen 10% ab. Der Differenzbetrag von 300 Geldeinheiten müsste bei Gültigkeit unserer Prämisse ebenfalls zu 10% angelegt werden können. Das gilt auch für die Rückflüsse nach einem Jahr und später. Es wird also angenommen, daß die Verzinsung von 10% sich auch in Zukunft nicht mehr ändern wird, wenn die Alternative 2 erst einmal realisiert ist. Wir kommen damit zu folgendem Ergebnis:

Ein Alternativvergleich konkurrierender Investitionen auf der Basis der internen Zinsfüße ist nur möglich, wenn man annimmt, daß Differenzbeträge und Rückflüsse der einzelnen Investitionen sich immer wieder zum internen Zinsfuß der Ursprungsinvestition anlegen lassen. Diese Annahme ist im Hinblick auf einzelne Investitionen sicherlich wirklichkeitsfremd; das gilt allerdings nicht für die Beurteilung ganzer Investitionsprogramme, mit denen wir uns noch weiter unten beschäftigen werden. In dem hier gegebenen Zusammenhang ist aber ausschlaggebend, daß die von uns formulierte Prämisse unvereinbar ist mit der Hypothese eines vollkommenen Kapitalmarktes, auf dem zwar beliebige Beträge angelegt und beschafft werden können, aber jeweils nur zum einheitlichen Marktzinsfuß, der identisch ist mit dem Kalkulationszinsfuß der Kapitalwert-Methode. Unter der Prämisse des vollkommenen Kapitalmarktes genügt ein bloßer Vergleich der internen Zinssätze der konkurrierenden Investitionen nicht. Es müssen vielmehr, wie das in unserem Beispiel geschehen ist, die Differenzinvestitionen in die Berechnung einbezogen werden. Dabei muß man davon ausgehen, daß diese Differenzinvestitionen eine Verzinsung in Höhe des allgemeinen Kapitalmarkt-Zinsfußes, d.h. des Kalkulationszinsfußes der Kapitalwert-Methode, bringen. Es zeigt sich also, daß der Alternativvergleich konkurrierender Investitionen mit Hilfe der

Internen-Zinsfuß-Methode in exakter Form nur durchführbar ist, wenn man den Kalkulationszinsfuß kennt.

(4) Der Alternativvergleich auf der Basis des ökonomischen Prinzips

Heister hat versucht, für den Alternativvergleich ein Verfahren zu entwickeln, bei dem die Diskontierung entfällt und deshalb auch kein Kalkulationszinsfuß bestimmt zu werden braucht. Er nennt sein Verfahren "Alternativvergleich auf der Basis des ökonomischen Prinzips", weil er es auf die Frage "möglichst großer Erfolg bei gleichem Mitteleinsatz" (= Maximalprinzip) bzw. "vorgegebener Erfolg bei geringstem Mitteleinsatz" zurückführt⁵⁵⁾.

Zur Erfüllung der Forderung "gleicher Mitteleinsatz" oder "gleicher Erfolg" müssen die Alternativen, deren Vorteilhaftigkeit untersucht werden soll, ergänzt werden, sobald der Mitteleinsatz unterschiedlich oder der Erfolg verschieden groß ist. Nehmen wir an, die Entscheidung für die bessere Alternative solle anhand des Maximalprinzips getroffen werden. Der Mitteleinsatz betrage aber bei Investition A DM 100.--, bei B DM 200.--. Die Einnahmen sollen bei A DM 200.-- nach einem Jahr, bei B DM 600.-- nach drei Jahren betragen. Zur Erfüllung der Forderung "gleicher Mitteleinsatz" ist der Investition A zunächst eine Investition a_1 von DM 100.-- hinzuzufügen. Heister nennt die Investition a_1 Zahlungs-Supplementinvestition. Ferner ist der Investition A nach einem Jahr die Investition a_2 von DM 200.-- hinzuzufügen. Die Investition a_2 heißt Zeit-Supplementinvestition. Beide Supplementinvestitionen sollen bis zum Ende des dritten Jahres laufen, damit die Bedingung "Einsatz von DM 200.-- für drei Jahre" für beide Alternativen erfüllt ist und damit zeitlich und wertmäßig der gleiche Mitteleinsatz vorliegt. Es kommt nun darauf an, welche Einnahmen mit den Supplementinvestitionen erzielt werden können. Angenommen, die Supplementinvestition a_1 führt zu einer Einnahme

55) Vgl. Heister, Matthias, Rentabilitätsanalyse, S. 31.

von DM 200.-- nach drei Jahren. Die Supplementinvestition a_2 führt nach zwei Jahren zu einer Einnahme von DM 350.--. Es ergibt sich dann folgender Zahlungsplan:

Alter- native	Anfang 1. Jahr	Ende 1. Jahr	Ende 2. Jahr	Ende 3. Jahr
A	- 100	+ 200		
a_1	- 100			+ 200
a_2		- 200		+ 350
				+ 550
B	- 200			+ 600

Die Entscheidung kann anhand der Addition der Einnahmen am Ende der Vergleichsperiode erfolgen. Die Investition B ist der Investition A einschließlich deren zugehöriger Supplementinvestitionen vorzuziehen, weil bei gleichem Mitteleinsatz am Ende des dritten Jahres B eine Einnahme von DM 600.--, $A + a_1 + a_2$ hingegen nur eine Einnahme von DM 550.-- erzielt. Eine Aufzinsung oder Abzinsung der Zahlungen ist in diesem Beispiel nicht erforderlich. Die Bestimmung eines Kalkulationszinsfußes entfällt.

Die Vorteile der Methode liegen zweifellos darin, daß die zeitliche Abfolge der Zahlungen sichtbar bleibt und damit in die Überlegungen einbezogen werden kann. Das ist allerdings auch bei den anderen Methoden möglich, wenn man sich die Mühe macht, ein Zahlungsbild zu entwerfen.

Ebenso ist die ausdrückliche Einbeziehung der Differenzinvestitionen in den Vorteilsvergleich als Vorteil zu betrachten, wenn man bedenkt, daß sie bisher bei den anderen Methoden durch Prämissen fast unbemerkt ausgeklammert wurden. Heister kommt allerdings nicht daran vorbei, allgemeine Finanzinvestitionen in der Form "alle Differenzen verzinsen sich zu x %" als Supplementinvestitionen einzusetzen. Zwar geschieht das bei Heister zunächst nur, um die Darstellung zu vereinfachen. In der Praxis wird es sich allerdings kaum anders durchführen

lassen. Der Investor wird, weil er die als Supplement in Frage kommenden Realinvestitionen nicht kennt, für alle Supplementinvestitionen eine einzige Verzinsung ansetzen, die auf jeden Fall erzielbar ist. Das läuft letztlich auf die Bestimmung eines Kalkulationszinsfußes hinaus. Wenn der Investor reale Investitionsvorhaben als Supplemente einsetzt, so werden sich daraus neue Supplemente ergeben, weil die Vorhaben selten in die Lücken passen werden. Das kompliziert die Rechnung außerordentlich.

Im folgenden soll anhand eines Beispiels untersucht werden, wie sich das Verfahren Heisters auswirkt, wenn man annimmt, daß alle Supplementinvestitionen sich zu einem einheitlichen Zinssatz verzinsen.

Die Investition I umfasse eine Auszahlung von DM 500.-- und fünf Einzahlungen am Ende des 1. bis 5. Jahres. Die Investition II soll aus einer Auszahlung von DM 1.500.-- und vier Einzahlungen von DM 750.-- jeweils am Ende des 1. bis 4. Jahres bestehen. Wir berechnen durch Vergleich beider Zahlungsreihen den Mehrbetrag an Einnahmen, der sich bei einem Übergang von Alternative I, d.h. der Alternative mit dem geringeren Kapitaleinsatz, zu der Alternative II ergibt.

	0	1.	2.	3.	4.	5. Jahr
I	- 500	+ 250	+ 250	+ 250	+ 250	+ 250
II	- 1.500	+ 750	+ 750	+ 750	+ 750	-
II - I	- 1.000	+ 500	+ 500	+ 500	+ 500	- 250

Heister füllt nun, wie aus einem seiner Beispiele hervorgeht⁵⁶⁾, nicht nur die Differenzen zwischen den beiden Investitionen mittels Supplementsinvestitionen auf, sondern er nimmt außerdem an, daß alle Rückflüsse bis zum Ende des Vergleichszeitraums angelegt werden. Wenn wir für unser Beispiel eine einheitliche Verzinsung der Supplementinvestitionen von 10% annehmen, ergibt sich folgendes Bild:

56) Vgl. Heister, Matthias, Rentabilitätsanalyse, S. 44 und 45.

Ausgangsinvestition I mit den Differenzinvestitionen

1 bis 5

	%	0	1.	2.	3.	4.	5. Jahr
I		- 500	+ 250	+ 250	+ 250	+ 250	+ 250
1	10	- 1.000					+ 1.611
2	10		- 250				+ 366
3	10			- 250			+ 332
4	10				- 250		+ 302
5	10					- 250	+ 275
		- 1.500	-	-	-	-	+ 3.136

Ausgangsinvestition II mit den Differenzinvestitionen

1 bis 4

	%	0	1.	2.	3.	4.	5. Jahr
II		- 1.500	+ 750	+ 750	+ 750	+ 750	-
1	10		- 750				+ 1.098
2	10			- 750			+ 998
3	10				- 750		+ 907
4	10					- 750	+ 825
		- 1.500	-	-	-	-	+ 3.828

Beim Vergleich erweist sich also die Ausgangsinvestition II als vorteilhafter. Es erhebt sich die Frage, ob man den Vergleich dadurch vereinfachen kann, daß man nur die Differenzen die sich aus dem Saldo der Zahlungen I und II ergeben, als Supplementinvestitionen ansetzt. Der Vergleich hat dann folgendes Aussehen:

	%	0	1.	2.	3.	4.	5. Jahr
I		- 500	+ 250	+ 250	+ 250	+ 250	+ 250
1 10		- 1.000					+ 1.611
		- 1.500	+ 250	+ 250	+ 250	+ 250	+ 1.861
II		- 1.500	+ 750	+ 750	+ 750	+ 750	
1 10			- 500				+ 732
2 10				- 500			+ 666
3 10					- 500		+ 605
4 10						- 500	+ 550
		- 1.500	+ 250	+ 250	+ 250	+ 250	+ 2.553

Der Unterschied zwischen den Alternativen I und II beläuft sich in beiden Fällen auf DM 692.-- $(3.828 - 3.136) = (2.553 - 1.861)$. Es ist demnach nicht notwendig, alle Rückflüsse bis zum Ablauf der längsten Alternative (hier Alternative I) als Supplementinvestitionen anzusetzen.

Abschließend ist zu prüfen, ob das Verfahren Heisters zur Bildung einer Rangfolge der Investitionen herangezogen werden kann. Das von Heister postulierte Prinzip besagt zunächst nur, daß von den betrachteten Alternativen bei gleichem Mitteleinsatz die Investition mit den höheren Einnahmen die bessere ist. Es wäre aber denkbar, daß die bessere von den verglichenen Alternativen weniger wirtschaftlich ist, als andere betriebliche Investitionen oder die Anlage des Kapitals auf dem Kapitalmarkt. Das Ergebnis einer Wirtschaftlichkeitsrechnung sollte deshalb eine Aussage darüber zulassen, wie die ausgewählte Alternative im Vergleich zu allen weiteren Investitionsmöglichkeiten zu beurteilen ist. Bei Anwendung der Kapitalwert-Methode oder der Internen-Zinsfuß-Methode wird diese Bewertung durch den Vergleich der Kapitalwerte bzw. der internen Zinsfüße erreicht. Um das gleiche Ziel mit dem Verfahren Heisters zu erreichen, müssten alle Investitionsprojekte mitein-

ander verglichen werden, und zwar jeweils in Form einer gesonderten Rechnung.

Man könnte allerdings versuchen, dieses umständliche Vorgehen durch Vereinfachungen zu umgehen. Zu diesem Zwecke könnte man eine der vorhandenen Alternativen als Maßalternative festlegen und die in Frage kommenden Investitionen mit ihr vergleichen. Man erreicht damit, daß nicht jede Investition mit allen anderen, sondern nur mit der Maßalternative zu verglichen ist. Die Rangfolge der Investitionen ergibt sich dann aus dem unterschiedlichen Vorteil der Alternativen gegenüber der Maßalternative. Die Supplementinvestitionen lassen sich dadurch ausschalten, daß man unterstellt, ihre Rendite sei ebenso hoch wie die Rendite der Maßalternative.

Ein auf diese Weise vereinfachtes Konzept würde zwar die Anforderungen, die an derartige Rechnungen gestellt werden, erfüllen. Es ist aber praktisch identisch mit der Kapitalwert-Methode: bei letzterer wählt man ebenfalls eine Maßalternative, und zwar in Form der Anlage zum Kalkulationszinsfuß; von den Supplementinvestitionen nimmt man bei der Kapitalwert-Methode an, sie ließen sich zum Kalkulationszinsfuß anlegen, was ebenfalls der angeführten Vereinfachung des Verfahrens von Heister entspricht.

Bei beiden Methoden bleibt allerdings offen, welche Investition als Maßalternative zu wählen ist. Diese Frage behandeln wir bei der Kritik der Kapitalwert-Methode⁵⁷⁾.

Da das Verfahren Heisters in der hier vorgenommenen, aber unseres Erachtens notwendigen Vereinfachung mit der Kapitalwert-Methode übereinstimmt, werden wir beim folgenden Vergleich der Rechnungsmethoden nicht mehr auf seinen Ansatz eingehen. Wir greifen aber bei der weiteren Modellanalyse auf einige seiner Grundüberlegungen zurück.

57) Vgl. unsere Ausführungen, bes. S. 74 - 86.

bb) Vergleich der Rechnungsmethoden

Zwischen der Kapitalwert-Methode und der Annuitätsmethode besteht inhaltlich kein Unterschied. Das Ergebnis liegt lediglich in einer anderen Form vor. Wenn man auf Anschaulichkeit Wert legt, ist vielfach die Annuitätsmethode vorzuziehen, denn die Bestimmung der durchschnittlichen jährlichen Einnahmeüberschüsse entspricht mehr dem Denken, das im Rechnungswesen üblich ist; außerdem gibt sie oft ein besseres Abbild der Wirklichkeit, da auch hier die Zahlungsströme oft einigermaßen gleichmäßig über die Zeit verteilt sind.

Beide Verfahren unterscheiden sich aber grundlegend von der Internen-Zinsfuß-Methode, falls man diese direkt, d.h. ohne Beachtung der Differenzinvestitionen, auf den Vergleich mehrerer Investitionen anwenden will⁵⁸⁾. Der Unterschied betrifft die unternehmerische Zielsetzung, die in beiden Fällen unterstellt wird.

Bei der Kapitalwert-Methode und der Annuitätsmethode geht man davon aus, daß der Differenzbetrag zwischen den diskontierten Einnahmen und Ausgaben maximiert werden soll. Die Höhe der Investitionsausgaben, d.h. der Kapitaleinsatz, dient nicht als Bezugsgrundlage, sondern als Abzugsposten. Nach diesem Kriterium entscheidet man sich beispielsweise bei zwei Investitionen A und B für die Investition B, wenn diese nur einen geringfügig höheren Kapitalwert hat; dabei kann der Kapitalwert der Investition B auf Grund eines ungleich höheren Kapitaleinsatzes und entsprechend hohen Einnahmen im Vergleich zu A zustande gekommen sein. Die Relation von Einnahmen zu Kapitaleinsatz spielt demnach keine Rolle. Entscheidungskriterium ist die Gewinnmaximierung im Sinne eines absoluten Überschußbetrages.

58) Eine direkte Anwendung der Internen-Zinsfuß-Methode auf den Vergleich zwischen zwei und mehr Investitionen haben Albach und Brandt untersucht. Vgl. Albach, Horst, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 26; Brandt, Horst, Investitionspolitik, S. 84. Brandt geht nicht auf die Unterschiede zwischen der Kapitalwert- und der Interne-Zinsfuß-Methode ein.

Anders liegt der Fall bei der Internen-Zinsfuß-Methode. Hier dienen die Investitionsausgaben als Bezugsgrundlage zur Ermittlung des internen Zinsfußes. Je höher die Ausgaben im Verhältnis zu den Einnahmen sind, um so geringer wird der interne Zinsfuß. Die genannte Investition A würde bei dieser Methode der Investition B vorgezogen.

Angenommen, die Investition A bestehe in einer Ausgabe zum Zeitpunkt null von DM 100.- und zehn Einnahmestößen am Ende des ersten bis zehnten Jahres in Höhe von DM 14,90, die Investition B in einer Ausgabe von DM 1.000.- und zehn Einnahmestößen am Ende des ersten bis zehnten Jahres in Höhe von DM 142,37. Der Kalkulationszinsfuß betrage 6%.

Nach der Kapitalwert-Methode ist die Investition B mit einem Kapitalwert von DM 48.- der Investition A mit einem Kapitalwert von DM 9,66 vorzuziehen.

Nach der Internen-Zinsfuß-Methode ist aber die Investition A mit einem internen Zinsfuß von 8% der Investition B mit einem internen Zinsfuß von nur 7% überlegen. Beide sind wirtschaftlich, weil der interne Zinsfuß über dem Kalkulationszinsfuß liegt.

Welche von beiden Investitionen ist nun die wirtschaftlichere? Die Frage braucht nur für den Fall beantwortet zu werden, bei dem die beiden Investitionen miteinander konkurrieren. Die Kapitalausstattung des Investors spielt dabei keine Rolle, denn entsprechend unserer Annahme, daß jederzeit zum Kalkulationszinsfuß Kapital beschafft und auch angelegt werden kann, vermag der Investor beide Investitionen durchzuführen. Ebenso ist die Differenzinvestition in Höhe von DM 900.-, die sich aus den unterschiedlichen Ausgaben für A und B ergibt, aus der Betrachtung ausgeschaltet, denn diese kann entsprechend unserer Annahme nur in Höhe des Kalkulationszinsfußes von 6% angelegt werden. Sie hat damit einen Kapitalwert von Null. Bei der Internen-Zinsfuß-Methode wird allerdings stillschweigend vorausgesetzt, daß auch die Differenzinvestitionen zum jewei-

ligen internen Zinsfuß angelegt werden können und damit keinen Einfluß auf dessen Höhe haben.

Die Unterschiede der Prämissen, die beiden Methoden zugrunde liegen, erklären die oft abweichenden Ergebnisse in ausreichendem Maße. Hält man die Prämissen bewusst aufrecht, so spitzt sich die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der konkurrierenden Investitionen auf das Problem zu, ob es sinnvoller ist, die Verzinsung des eingesetzten Kapitals oder die absolute Höhe des Gewinns zu maximieren. Unter den vorliegenden Annahmen müsste sich der Investor eindeutig für die Gewinnmaximierung entschließen, denn die Investition B bringt für ihn ein höheres Einkommen und somit höheren Nutzen, solange andere Entscheidungskomponenten außer Betracht bleiben. Die Maximierung der Verzinsung des eingesetzten Kapitals (= Rentabilitätsmaximierung) ist also unter diesen Gesichtspunkten als Zielgröße unbrauchbar⁵⁹⁾.

Damit steht im Widerspruch, daß die Rentabilitätsmaximierung häufig als Zielsetzung ohne weiteres akzeptiert wird. Dabei geht man davon aus, daß Gewinnmaximierung und Rentabilitätsmaximierung bei Kapitalknappheit übereinstimmen. Das Modell konkurrierender Investitionen beruht aber gerade auf der Prämisse des vollkommenen Kapitalmarktes: das Kapitalangebot muß so beschaffen sein, daß auch die Investition mit dem höheren Kapitaleinsatz durchgeführt werden kann; sonst entsteht überhaupt kein Wahlproblem. Bei diesem Modell führen die beiden Kriterien nur dann zuverlässig zum gleichen Ergebnis, wenn der Kapitaleinsatz der Alternativen in jedem Zeitpunkt gleich ist. Bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen ergeben sich allerdings neue Gesichtspunkte, die wir noch ausführlich behandeln werden⁶⁰⁾.

59) Zur grundlegenden Frage, inwieweit die Rentabilitätsmaximierung als Zielsetzung in Betracht kommt, vgl. Hax, Herbert, Rentabilitätsmaximierung als unternehmerische Zielsetzung, In: ZfhF, NF, 15. Jg. (1963), S. 337-344, sowie die dort angegebene Literatur.

60) Vgl. unsere Ausführungen S. 145 ff.

Wir halten daher fest, daß bei dem Vergleich konkurrierender Investitionen unter der Annahme eines vollkommenen Kapitalmarktes nur der Maßstab der Gewinnmaximierung und damit der Maximierung des Kapitalwerts eine richtige Entscheidung ermöglicht. Die Maximierung des internen Zinsfußes, d.h. die Rentabilitätsmaximierung, genügt nicht; man muß vielmehr die Rechnung durch die Einbeziehung der Differenzinvestitionen ergänzen⁶¹⁾. Die Interne-Zinsfuß-Methode ist aber dann wesentlich umständlicher als die Kapitalwert-Methode.

Die Modelle zur Berechnung der Vorteilhaftigkeit einer Investition unter Einbeziehung konkurrierender Investitionen führen, wie wir gesehen haben, zur Auswahl der gewinnmaximalen Alternative und damit zur Ausschaltung der weniger vorteilhaften Konkurrenten. Dabei wurde unterstellt, daß außer den im Modell genannten Alternativen und der Anlage von eventuellen Kapitalrestbeträgen zum Kalkulationszinsfuß keine weiteren Anlagemöglichkeiten bestehen. Das Modell setzt also voraus, daß nur eine einzige Investition letzten Endes durchgeführt werden kann und soll. Diese Erkenntnis ist wichtig, wenn man den Anwendungsbereich des Modells abgrenzen will. Wir werden feststellen, daß das Modell in der geschilderten Form, d.h. unter unmittelbarer Einbeziehung von Alternativen, für die Aufstellung von Investitionsprogrammen nicht brauchbar ist. Für diesen Zweck müssen wir auf die einfacheren Modelle zurückgreifen, d.h. wir müssen konkurrierende Investitionen zunächst so behandeln, als seien sie selbständige Vorhaben, die von ihren Konkurrenten nicht abhängig sind. Erst im Rahmen der Programmaufstellung wird der Umstand, daß sie mit bestimmten konkurrierenden Alternativen nicht gleichzeitig realisiert werden können, berücksichtigt werden. Es zeigt sich dabei, daß das einfachste Modell ohne Alternativvergleich zwar wirklichkeitsfremd, aber im Rahmen der späteren Modellerweiterung von erheblicher Bedeutung ist.

61) Vgl. unsere Ausführungen S.45 ff.

3. Modelle mit simultaner Bestimmung von Vorteilhaftigkeit und wirtschaftlicher Nutzungsdauer.

Die bisherigen Modelle gingen von der Annahme aus, daß die Nutzungsdauer des einzelnen Investitionsvorhabens bereits feststeht. Mit dieser Hypothese hatten wir das jeweilige Modell auf die Frage reduziert, wie man bei gegebener Höhe und bei gegebener zeitlicher Ausdehnung der Zahlungen die Vorteilhaftigkeit einer Investition bestimmen kann. Deshalb hatten wir sie an den Anfang gestellt.

Die Modelle mit bereits gegebener Nutzungsdauer liefern aber nur dann die gewünschten Ergebnisse, wenn die vorgegebene Nutzungsdauer schon optimal ist. Entspricht die vorgegebene Nutzungsdauer nicht der optimalen Nutzungsdauer, so kann man offensichtlich durch ihre Veränderung den Ertrag einer Investition erhöhen. Dadurch wird sich gleichzeitig der Kapitalwert bzw. der interne Zinsfuß der Investition erhöhen.

Die im folgenden Abschnitt dargestellten Modelle behandeln die Nutzungsdauer nicht mehr als gegebene Größe, sondern sie bestimmen diese zusammen mit dem Kapitalwert bzw. dem internen Zinsfuß in einem Rechengang. Es liegt also eine Modellerweiterung vor, da die Zahl der zu bestimmenden Größen bei diesen Modellen höher ist als bei den vorher beschriebenen Modellen.

Wir gehen bei der Erklärung der Nutzungsdauer-Modelle auf den Fall der isolierten Betrachtung einer Investition zurück. Die Anwendung der folgenden Überlegungen auf die Modelle zur Berechnung der Vorteilhaftigkeit einer Investition unter Einbeziehung der konkurrierenden Alternativen bringt keine zusätzlichen Probleme.

a) Darstellung der Methoden

aa) Die Bestimmung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer
nach der Kapitalwert-Methode

(1) ohne Berücksichtigung von Nachfolgeinvestitionen

Die Erhöhung des Kapitalwerts einer Investition kann rein formal durch die Erhöhung der Einnahmeüberschüsse (ceteris paribus) erreicht werden. Dabei sind zwei Wege zu unterscheiden:

1. Die Erhöhung der Überschüsse durch eine Steigerung des Kapitaleinsatzes bei gegebener Nutzungsdauer;
2. Die Steigerung der Zahl der Periodenüberschüsse durch die Ausdehnung der Nutzungsdauer bis zum Kapitalwert-Maximum.

Der Fall der Erhöhung des Kapitaleinsatzes stellt theoretisch eine Wahl zwischen unendlich vielen Investitionen durch kontinuierliche Variation der Investitionsausgaben dar⁶²⁾. Er hat nur für bestimmte Investitionsarten Bedeutung, bei denen die unendliche Teilbarkeit der Anlagen gegeben ist. Hier wird der Fall nicht behandelt, weil wir uns aus Vereinfachungsgründen lediglich mit der Vorteilhaftigkeit einzelner Investitionen befassen. Der Fall einer Ausdehnung der Nutzungsdauer bis zum Kapitalwert-Maximum könnte, ähnlich wie die Erhöhung des Kapitaleinsatzes, als kontinuierliche Steigerung der Investitionsausgaben (statt 'mehr' wird 'länger' gezahlt) gesehen werden und wäre dann auch ein Vergleich zwischen unendlich vielen Investitionen⁶³⁾. Wir sehen den Vorgang aber anders und gehen davon aus, daß eine bestimmte Anfangsausgabe erfolgt ist und daß durch die Variation der Nutzungsdauer des betreffenden Anlagegutes, für welches die Anfangsausgabe verwendet wurde,

62) Vgl. Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 45.

63) Vgl. Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 45.

der Kapitalwert der Investition vergrößert werden kann. Es geht dabei um die Bestimmung der vorteilhaftesten Nutzungsdauer einer Investition, die dort gegeben ist, wo der Kapitalwert der Investition ein Maximum erreicht. Formal-rechnerisch gesehen bedeutet das zwar eine "kontinuierliche Variation einer variablen Größe"⁶⁴⁾, und damit einen Vergleich unendlich vieler Investitionen. Aber man kann diesen Fall auch als isolierte Einzelinvestition mit variabler Nutzungsdauer betrachten.

Wir unterstellen zunächst eine Investition ohne Nachfolger. Nach Nutzung und Verbrauch des Investitionsobjektes ist die "Unternehmung" beendet⁶⁵⁾. Gegeben sind ein Kalkulationszinsfuß und die Zahlungsströme, d.h. die mit dem Objekt verbundenen Einnahmen und Ausgaben im Zeitablauf, außerdem noch die Restverkaufserlöse am Ende jeder Periode. Auszurechnen ist, wie lange das Investitionsobjekt genutzt werden soll, wann es also sinnvoll ist, die Unternehmung zu beenden. Dieser Zeitpunkt ist gekommen, wenn der Kapitalwert seinen Höchstbetrag erreicht hat.

Der Kapitalwert errechnet sich aus der Summe der abgezinsten Periodenüberschüsse zuzüglich dem abgezinsten Restwert abzüglich den Anschaffungsausgaben. In der folgenden Formel bezeichnet $Q(t)$ die Periodenüberschüsse von der ersten bis zur n -ten Periode ($t=1, \dots, n$), $R(n)$ den Restwert der Anlage in der n -ten Periode; beide sind mit dem Kalkulationszinsfuß abzuzinsen. Der Kalkulationszinsfuß bezieht sich aber stets auf eine einzige Zinszahlung pro Periode. Auf diese Weise erhalten wir eine unstetige Funktion. Zwei Gründe zwingen aber dazu, die unstetige Funktion in eine stetige Funktion umzuwandeln: Wenn wir die wirtschaftlich optimale Nutzungsdauer ermitteln wollen, können wir die Nutzungsdauer nicht jeweils um eine volle Periode verlängern, sondern um unendlich kleine Zeitspannen. Nur unter dieser Voraussetzung läßt sich das Maximum des Kapitalwerts in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer exakt bestimmen. Der zweite

64) Vgl. Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 45.

65) Vgl. Schneider, Dieter, Die wirtschaftliche Nutzungsdauer von Anlagegütern, S. 49.

Grund ergibt sich aus der Art der mathematischen Methoden, die bei der Rechnung anzuwenden sind, nämlich der Differential- und Integralrechnung. Sie setzen beide im allgemeinen eine stetige Funktion voraus. Wir erhalten eine solche stetige Funktion aber nur, wenn statt des Kalkulationszinsfußes die Momentanverzinsung oder Verzinsungsenergie, die zu dem jeweiligen Kalkulationszinsfuß adäquat ist, verwandt wird⁶⁶⁾. Diese Verzinsungsenergie bezeichnen wir als ρ . Bezeichnet man die Anschaffungsausgaben mit J , so ergibt sich für den Kapitalwert K_1 folgende Formel:⁶⁷⁾

$$(1) \quad K_1 = \int_0^n Q(t)e^{-\rho t} dt + R(n)e^{-\rho n} - J.$$

Durch Differenzieren nach n und Nullsetzung der Gleichung erhalten wir die Bedingung für die Nutzungsdauer mit dem maximalen Kapitalwert:

$$(2) \quad Q(n) = \rho R(n) + [-R'(n)].$$

Das Kapitalwertmaximum ist erreicht, wenn der Periodenüberschuß des n -ten Jahres gleich den Zinsen auf den Restverkaufserlös am Anfang des Jahres und der Restverkaufserlösabnahme im Laufe des Jahres ist.

66) Der Ausdruck "Verzinsungsenergie" stammt unseres Wissens von Knut Wicksell, der ihn in seinen "Vorlesungen über Nationalökonomie" aus den Jahren 1901 und 1906 verwendet. Vgl. die englische Übersetzung: Wicksell, Knut, Lectures on Political Economy, 6th impression, London 1951, S. 178.

67) Eine genaue Entwicklung der Formel findet sich bei Schneider, Dieter, Der Einfluß von Ertragsteuern auf die Vorteilhaftigkeit von Investitionen, In: ZfhF, NF, 14. Jg. (1962), S. 539-570, bes. S. 549. Das Symbol e in der Formel bezeichnet den Grenzwert von $(1 + \frac{1}{n})^n$ bei $n \rightarrow \infty$ (2,718), der sich aus der Integration von unendlich vielen Perioden unendlich geringer Dauer ("Momente") ergibt.

Das Modell bestimmt, wie aus unseren Ausführungen hervorgeht, den Kapitalwert und die wirtschaftliche Nutzungsdauer der Investition in einem Rechengang, wobei der Kapitalwert nicht mehr den Barwert begrenzter Zahlungsreihen, wie im einfachen Modell, sondern den maximalen Kapitalwert theoretisch unbegrenzter (praktisch allerdings irgendwann zum Abschluß kom-mender) Zahlungsreihen repräsentiert.

(2) mit Berücksichtigung von Nachfolgeinvestitionen

Die Annahme einer Beendigung der Unternehmung nach Ablauf der Nutzungsdauer einer einzigen Investition entspricht jedoch nicht der der Wirklichkeit. Die Unternehmungen planen unter der Voraussetzung einer Fortführung ihrer Tätigkeit auf unbestimmte Zeit. Dementsprechend muß das Modell auch die nachfolgenden Investitionen berücksichtigen. Es geht dabei aber immer noch um die Bestimmung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer der Ausgangsinvestition und damit um die Einzelanalyse, obwohl das Modell auch die nachfolgenden Investitionen aufnehmen soll. Wie ist bei dieser Fragestellung vorzugehen?

Die Modellerweiterung müßte folgerichtig von den wirklichen Anlagemöglichkeiten der Zukunft ausgehen, wenn sie im voraus bekannt wären. Das Modell hätte also zeitlich aufeinander folgende Investitionen unterschiedlicher Art einzubeziehen, wobei deren Kapitalwert zu maximieren und gleichzeitig die Nutzungsdauern der nacheinander einzusetzenden Anlagen zu bestimmen wäre. Man bezeichnet eine solche Reihe hintereinandergeschalteter Einzelinvestitionen, die sich jeweils ablösen, als Investitionskette. Wenn K_a der Gesamtkapitalwert, K_1 bis K_n die Barwerte der einzelnen Investitionen und t_1 bis t_n der jeweilige Zeitabstand der einzelnen Barwerte vom Kalkulationszeitpunkt sind, so ergibt sich für den Gesamtkapitalwert der Kette

$$K_a = K_1 + K_2 v^{t_1} + K_3 v^{t_2} \dots K_n v^{t_{n-1}}. \quad 68)$$

68) In dieser Gleichung ist v der Abzinsungsfaktor $\frac{1}{(1+i)}$.

In dieser Gleichung sind die einzelnen Kapitalwerte K_1 bis K_n und die zugehörigen Nutzungsdauern voneinander verschieden⁶⁹⁾. Das setzt natürlich voraus, daß der Unternehmer die zukünftigen Investitionsmöglichkeiten und ihre Erträge kennt.

Unter dieser Prämisse soll für eine endliche Zahl von Investitionen die jeweilige Nutzungsdauer und der jeweilige Kapitalwert simultan bestimmt werden. Man geht dabei so vor, daß man beim letzten Glied der Kette beginnt und dessen Kapitalwert und Nutzungsdauer ausrechnet. Man muß beim letzten Glied beginnen, weil - wie wir noch sehen werden - die Zinsen auf den Kapitalwert des letzten Gliedes den Kapitalwert und die Nutzungsdauer des zweitletzten Gliedes mitbestimmen. Die Ermittlung des Gesamtkapitalwerts der Kette ist also nur durch Rückwärtsrechnung möglich. Aus der Beschreibung des Lösungsverfahrens ergibt sich, daß es nur bei einer endlichen Zahl von Gliedern anwendbar ist; der Unternehmer muß imstande sein, das Ende der Unternehmung im voraus festzulegen.

Zur Modellbildung für tatsächliche Planungsvorgänge erweist sich die Gleichung jedoch als zu kompliziert; auch treffen die Prämissen in der Wirklichkeit nicht zu. Der Unternehmer kennt die zukünftigen Anlagemöglichkeiten nicht und vermag in der Regel auch nicht anzugeben, wann die Unternehmung aufgelöst wird. Wir müssen also ein Modell suchen, daß diesen Bedingungen Rechnung trägt. Allerdings wäre zu prüfen, ob wir unsere generelle Annahme der Sicherheit unserer Daten noch aufrecht erhalten, wenn wir sagen, der Unternehmer kenne die zukünftigen Anlagemöglichkeiten nicht und sei auch nicht in der Lage, das Ende der Unternehmung festzulegen. Wir geben diese generelle Annahme aber keineswegs auf. Wir suchen lediglich ein Modell, dessen Datenanforderungen dem tatsächlichen unternehmerischen Verhalten besser entspricht. Wir fragen:

69) Vgl. hierzu von Briel, Hansrudolf, Die Ermittlung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer von Anlagegütern, Dissertation, Winterthur 1955, S. 41.

Welche Erwartungen hat der Unternehmer hinsichtlich der Anlagemöglichkeiten und welche Annahmen macht er hinsichtlich des Endes der Unternehmung? Die Antwort lautet: Der Unternehmer kennt die Anlagemöglichkeiten nicht und geht deshalb von der Fortdauer des jeweiligen Zustandes aus. Die technische Entwicklung geht zwar weiter, aber die Ertragslage kann sich nach allen Richtungen ändern. Es ist deshalb sinnvoll anzunehmen, daß der Kapitalwert der künftigen Investitionen unverändert bleibt. Weil das Ende der Unternehmung nicht abzusehen ist, nimmt man an, daß die Zahlungsströme bis in alle Zukunft weiterfließen und daß auf die gegenwärtigen Investitionen stets Investitionen mit gleicher Verzinsung folgen werden. Die technische Ausführung einer Investition kann dabei von der des Vorgängers abweichen. Diese Annahme bezeichnet man als die Prämisse der identischen Wiederholung. Das Modell, das sich aus diesen Überlegungen ergibt, hat sowohl den Vorteil größerer Wirklichkeitsnähe als auch den der mathematischen Einfachheit. Gegeben ist eine unendliche Reihe von untereinander gleichen Kapitalwerten (K_1). Gesucht ist das Gesamtwertmaximum und die Lebensdauer der Anlagen⁷⁰⁾.

$$(1) K_a = K_1 + K_1 v^n + K_1 v^{2n} + \dots K_1 v^{\infty n}$$

Aus (1) kann durch Multiplikation mit v^n und Subtraktion dieses Produktes von Gleichung (1) der einfache Ausdruck

$$(2) K_a = \frac{K_1}{1 - v^n}$$

errechnet werden. Zur Ermittlung des Maximums muß eine Umformung von (2) in die stetige Form erfolgen⁷¹⁾

70) Das Modell mit einer endlichen Zahl identischer Kapitalwerte können wir überspringen. Es führt übrigens dazu, daß die Nutzungsdauer des Nachfolgers jeweils länger ist, als die des Vorgängers. Vgl. hierzu Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung, S. 61; von Briel, Hensrudolf, Die Ermittlung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer von Anlagegütern, S. 41.

71) Vgl. hierzu: Schneider, Dieter, Der Einfluß der Ertragssteuer auf die Vorteilhaftigkeit von Investitionen, S. 555 und die obigen Ausführungen S. 63.

$$(3) K_a = \frac{\int_0^n Q(t)e^{-\delta t} dt + R(n)e^{-\delta n} - J}{1 - e^{-\delta n}}$$

Durch Differenzieren nach n erhält man das Ergebnis

$$(4) Q(n) = \delta R(n) + [-R'(n)] + \delta K_a$$

Die Nutzungsdauer einer Anlage in einer Kette identischer Glieder ist beendet, wenn der Periodenüberschuß Q dieser Anlage gleich der Summe aus

den Zinsen auf den Restverkaufserlös zu Beginn der Periode ($=\delta R(n)$)

den Restverkaufserlösabfall R' während der Periode

und den Zinsen auf den Kapitalwert aller nachfolgenden Investitionen zu Beginn der Periode ($=\delta K_a$)

ist. In diesem Zeitpunkt und bei dieser Nutzungsdauer erreicht die Investition den maximalen Kapitalwert. Es ist diejenige Periode, in der die Grenzrentabilität gleich dem Kalkulationszinsfuß ist.

bb) Die Bestimmung von Vorteilhaftigkeit und wirtschaftlicher Nutzungsdauer nach der Internen-Zinsfuß-Methode

(1) ohne Berücksichtigung von Nachfolgeinvestitionen

Bei der Ermittlung der Nutzungsdauer einer Investition nach dem Internen-Zinsfuß-Kriterium können wir von der Formel der Kapitalwert-Methode ausgehen⁷²⁾. Die Interne-Zinsfuß-Methode

72) In gleicher Weise geht Wicksell vor. Er benutzt in dem bekannten Weinbeispiel ein und dieselbe Formel dazu, einmal die kapitalwertmaximale Nutzungsdauer bei gegebenem δ auszurechnen und einmal die zinsfußmaximale Nutzungsdauer bei gegebenem Kapitalwert zu ermitteln; Vgl. Wicksell, Knut, S. 178 und 179.

kann nämlich auch als Spezialfall der Kapitalwert-Methode aufgefaßt werden. Der Kalkulationszinsfuß ist nicht vorgegeben, sondern er wird so gewählt, daß der maximal erreichbare Kapitalwert Null ist. Da das Kapitalwert-Modell unabhängig von der Höhe des Zinsfußes ist, muß es auch für den Fall herangezogen werden können, bei dem der Kalkulationszinsfuß gleich dem internen Zinsfuß ist.

Wir setzen in die bereits erläuterte Formel⁷³⁾ den Kapitalwert K_1 mit Null ein und suchen die Bedingung, bei der die Verzinsung ein Maximum wird.

$$(1) \quad 0 = \int_0^n Q(t)e^{-\rho t} dt + R(n)e^{-\rho n} - J$$

Durch Differenzieren nach n ergibt der Ausdruck (1) die bereits abgeleitete Gleichung⁷³⁾

$$(2) \quad Q(n) = \rho R(n) + [-R'(n)]$$

und daraus durch Auflösen nach

$$(3) \quad \rho = \frac{Q(n) - [-R'(n)]}{R(n)}$$

Der Ausdruck (3) entspricht der Jevons'schen Zinsgleichung⁷⁴⁾. Die Bedingung (3) muß erfüllt sein, wenn die optimale Nutzungsdauer erreicht werden soll. Der rechte Ausdruck der Gleichung (3) ist eine Verhältniszahl, welche die Grenzrentabilität der Investition in bezug auf die Zeit zum Ausdruck bringt. Im Zähler steht der Periodengewinn; er ist die Differenz zwischen dem Einnahmenüberschuß und dem Rest-

73) Vgl. S.63.

74) Vgl. hierzu Jevons, W. Stanley, Die Theorie der politischen Ökonomie. Übersetzt von Otto Weinberger. Jena 1924, S. 231 f. Ferner Schneider, Dieter, Die wirtschaftliche Nutzungsdauer von Anlagegütern, S. 52.

wertabfall der Periode. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß der Restwertabfall der Periode vom Einnahmeüberschuß abgesetzt werden muß, weil der Restwertabfall durch die Benutzung des Aggregats während der Periode hervorgerufen wird.

Der Nenner der Gleichung kann als der Kapitaleinsatz der Periode aufgefaßt werden. Der Restwert ist nämlich der in der betreffenden Periode gebundene Kapitalbetrag; er wird am Beginn der Periode "eingesetzt", weil man auf den Verkauf verzichtet. Wenn also die Grenzrentabilität die Durchschnittsverzinsung für die gesamte bisherige Nutzungsdauer erreicht hat, so hat damit auch der interne Zinsfuß sein Maximum erreicht. Die Nutzungsdauer, bei der die Zinsgleichung erfüllt ist, ist gleichzeitig die Nutzungsdauer mit dem maximalen durchschnittlichen internen Zinsfuß. Sie muß von der Nutzungsdauer mit dem maximalen Kapitalwert abweichen, weil bei der Kapitalwertmaximierung die optimale Nutzungsdauer dann erreicht ist, wenn die Grenzrentabilität gleich dem Kalkulationszinsfuß ist⁷⁵⁾. Beide Methoden der Nutzungsdauerermittlung würden nur dann zum selben Ergebnis führen, wenn man den Kalkulationszinsfuß in Höhe des internen Zinsfußes festlegt.

(2) mit Berücksichtigung von Nachfolgeinvestitionen

Wir wollen zunächst eine zweigliedrige Kette untersuchen, um die Wirkung der Kette auf die Nutzungsdauer der Kettenglieder zu zeigen. Wir gehen dabei von einem einfachen Beispiel aus. Gegeben sei eine Investition mit einer Ausgabe von $A = 1.000$. Die Einnahmeüberschüsse $Q(t)$, der jährliche Restwertabfall $R'(n)$ und der daraus resultierende Restwert sollen den in der nachfolgenden Tabelle beschriebenen Verlauf haben. Diese Investition soll wiederholbar sein, so daß nach Ablauf der wirtschaftlichen Nutzungsdauer die Zahlungen wieder von vorne beginnen.

75) Vgl. hierzu die Darstellung von Lutz, Friedrich und Vera, The Theory of the Investment of the Firm, S. 71.

Tabelle 1 (S. 71) zeigt, daß bei der Nutzungsdauerermittlung ohne Berücksichtigung einer Nachfolgeinvestition die wirtschaftliche Nutzungsdauer der Investition nach dem Internen-Zinsfuß-Kriterium bei 6 Jahren liegt. Der interne Zinsfuß liegt ziemlich genau bei 12,75 %. Der Kapitalwert K_1 ist bei diesem Kalkulationszinsfuß von 12,75 % Null, wenn die Nutzungsdauer 6 Jahre beträgt. Vorher und nachher ist der Kapitalwert bei diesem Kalkulationszinsfuß negativ. Der interne Zinsfuß, bei dem der Kapitalwert Null ist, muß also bei kürzerer oder längerer Nutzungsdauer niedriger als 12,75 % sein. Dieser Satz ist somit das Maximum des internen Zinsfußes bei Variation der Nutzungsdauer.

Berechnen wir nun den Kapitalwert der zweigliedrigen Kette, indem wir einmal die Nutzungsdauer von 6 Jahren, dann die Nutzungsdauer von 5 und 7 Jahren zugrunde legen, so zeigt sich an der jeweiligen Höhe des Kapitalwertes, welche Nutzungsdauer optimal ist. In Tabelle 2 (S. 72) haben wir diese Rechnung durchgeführt.

Tabelle 2 zeigt, daß der Kapitalwert der zweigliedrigen Kette bei Anwendung des Zinsfußes von 12,75 % im Falle der Nutzungsdauer des Kettengliedes von 5 Jahren - 35, bei 6 Jahren - 4 und bei 7 Jahren Nutzungsdauer - 13 beträgt. Das läßt erkennen, daß der interne Zinsfuß bei 5 und 7 Jahren Nutzungsdauer geringer ist als bei 6 Jahren. In unserem Beispiel liegt somit die optimale Nutzungsdauer auch in der zweigliedrigen Kette bei 6 Jahren. Es spielt offenbar keine Rolle, ob man das zweite Glied in die Überlegungen einbezieht oder nicht⁷⁶⁾.

76) Vgl. hierzu auch die Ableitung Heisters, der zum gleichen Ergebnis kommt; Heister, Matthias, Rentabilitätsanalyse, S. 141 und 142.

T A B E L L E 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jahre	$Q(t)$	$\frac{A}{R(n)}$	$R'(n)$	$\frac{Q(n) - R'(n)}{R(n)}$	$\frac{Q(n)}{R(n)}$	$Q(t) \cdot v^n$	$\sum Q(t) \cdot v^n$	$R(n) \cdot v^n$	$\sum Q(t) \cdot v^n + R(n) \cdot v^n$	K_1
0		1.000								$p = 12,75\%$
1	300	700	300	0 %	0,8869	266	266	620	886	- 114
2	250	500	200	7,14 %	0,7866	197	463	393	856	- 144
3	230	400	100	26,00 %	0,6976	160	623	279	902	- 98
4	210	310	90	30,00 %	0,6187	130	753	191	944	- 56
5	180	230	80	32,25 %	0,5488	99	852	126	978	- 22
6	140	160	70	30,34 %	0,4867	68	920	78	998	- 2
7	80	90	70	6,25 %	0,4317	35	955	38	993	- 7
8	40	20	70	- 33,33 %	0,3828	15	970	8	978	- 22
9	20	-	20	-	0,3395	7	990	-	990	- 10
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Symbolerklärung: A = Anschaffungswert; $Q(t)$ = Einnahmeüberschuß der Periode t; $R(n)$ = Restwert nach n Jahren; K_1 = Kapitalwert der Investition ohne Nachfolger; $v^n = \frac{Q(n) - R'(n)}{R(n)}$ = Abzinsungsfaktor; $\frac{Q(n) - R'(n)}{R(n)}$ = Grenzrentabilität der n-ten Periode.

77) Als $R(n)$ wurde bei der Berechnung der Grenzrentabilität der Restwert am Ende des Vorjahres eingesetzt.

T A B E L L E 2

Jahre	$Q(t)^{78)}$	A	v^n	$Q(t)v^t$	$Q(t)$	A	$Q(t)v^t$	$Q(t)$	A	$Q(t)v^t$
			$n = 5$	$n = 5$		$n = 6$			$n = 7$	
0		1.000								
1	300		0,8869	266	300	1.000	266	300	1.000	266
2	250		0,7866	197	250		197	250		197
3	230		0,6976	160	230		160	230		160
4	210		0,6187	130	210		130	210		130
5	410	1.000	0,5488	225	180		99	180		99
6	300		0,4867	146	300	1.000	146	140		68
7	250		0,4317	108	300		130	170	1.000	73
8	130		0,3828	88	250		96	300		115
9	210		0,3395	71	230		78	250		85
10	410		0,3011	123	210		63	130		69
11	-		0,2611	-	180		47	210		54
12	-		0,2369	-	300		71	180		42
13	-		0,2101	-	-		-	140		29
14	-		0,1863	-	-		-	170		32
$\sum Q(t)v^t$				1.514			1.483			1.419
$\sum Q(t)v^t - \sum Av^t$				- 35			- 4			- 13

78) Einschließlich Restwertelös am Ende der Nutzungsdauer.

 $p = 12,75 \%$

Wir wollen diese Überlegung auf die unendliche Kette übertragen und anhand der allgemeinen Lösung beweisen. Die Nutzungsdauer ist nach der Kapitalwert-Methode dann beendet, wenn der Periodenüberschuß $Q(n)$ gleich der Summe aus

den Zinsen auf den Restverkaufserlös $\rho R(n)$
dem Restverkaufserlösabfall (R') und
den Zinsen auf den Kapitalwert aller nachfolgenden Investitionen (ρK_a)

ist⁷⁹⁾. Die Formel lautet:

$$Q(n) = \rho R(n) + [-R'(n)] + \rho K_a$$

Von dieser Formel können wir ausgehen, weil, wie bereits erwähnt, die Interne-Zinsfuß-Methode auch als Spezialfall der Kapitalwert-Methode angesehen werden kann, bei dem der Kalkulationszinsfuß gleich dem internen Zinsfuß ist.

Definitionsgemäß ist aber der Zinsfuß bei der Internen-Zinsfuß-Methode so zu wählen, daß der Kapitalwert der Kette und jedes einzelnen Kettengliedes null wird. Infolgedessen fällt in der Nutzungsdauerformel das Glied ρK_a weg. Die Nutzungsdauer ergibt sich aus dem Ausdruck

$$Q(n) = \rho R(n) + [-R'(n)]$$

Das ist aber der gleiche Ausdruck, der zur Ermittlung der Nutzungsdauer einer Investition ohne Nachfolger führt. Die Nutzungsdauer einer Investition unter Berücksichtigung identischer Nachfolger stimmt also bei Anwendung des Internen-Zinsfuß-Kriteriums überein mit der Nutzungsdauer ohne Berücksichtigung der Nachfolger. Die Nachfolger haben keinen Einfluß auf die Nutzungsdauer der Ausgangsinvestition, weil die Interne Zinsfuß-Methode ohnehin unterstellt, die Verzinsung des Kapitaleinsatzes bleibe nach Abschluß der Nut-

79) Vgl. S. 61 ff. unserer Ausführungen, bes. S. 63.

zungsdauer die gleiche wie bisher. Voraussetzung ist also die identische Wiederholung, die wir aber auch bei der Kapitalwert-Methode unterstellten und die im Zusammenhang mit der Internen-Zinsfuß-Methode bedeutet, daß die Nachfolger den gleichen internen Zinsfuß erzielen wie der Vorgänger.

b) Vergleich der Rechnungsmethoden

Zur Veranschaulichung unserer Überlegungen wollen wir zunächst an einem Beispiel zeigen, daß die Nutzungsdauerbestimmung der beiden Methoden zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Wir verwenden hierzu das Beispiel von Dieter Schneider⁸⁰⁾. Die Nutzungsdauer wird dort nach dem Kapitalwert-Kriterium bestimmt. Wir erweitern das Beispiel durch die Bestimmung der Nutzungsdauer nach dem Internen-Zinsfuß-Kriterium. Dadurch werden die Ergebnisse miteinander vergleichbar.

Tabelle 3 (S.75) zeigt, daß die Nutzungsdauer der Investition nach dem Kapitalwertkriterium ohne Berücksichtigung der Nachfolger berechnet 8 Jahre und mit Berücksichtigung der Nachfolger 6 Jahre beträgt. Die Nutzungsdauer nach dem Internen-Zinsfuß-Kriterium beläuft sich in beiden Fällen auf 8 Jahre. Erst zwischen dem achten und dem neunten Jahr erreicht die Grenzrentabilität die Durchschnittsrentabilität, aber auch den Wert des Kalkulationszinsfußes. Deshalb stimmen in diesem Beispiel die Nutzungsdauer nach der Kapitalwert-Methode ohne Berücksichtigung der Nachfolger und die Nutzungsdauer nach der Internen-Zinsfuß-Methode überein. Die Spalte 11 der Tabelle dient zum Auffinden des maximalen internen Zinsfußes. Er liegt bei 21,4 %. Es zeigt sich auch bei seiner Berechnung, daß das Maximum bei einer Nutzungsdauer von 8 Jahren liegen muß. Danach sinkt er wieder auf 21% ab.

80) Vgl. Schneider, Dieter, Der Einfluß von Ertragsteuern auf die Vorteilhaftigkeit von Investitionen, S. 357.

Jahre	$R'(n)$	A $R(n)$	$R(n)v^n$	$Q(t)$	$Q(t)v^t$	$\sum_{t=1}^n Q(t)v^t$	K_1 bei $p=10\%$	K_a 81) bei $p=10\%$	$Q(n) - \frac{[-R'(n)]}{R(n)}$ 82)	Inter- ner Zinsfuß
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0		1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
1	250	750	682	325	295	295	- 23	- 251	7,5 %	7,5 %
2	200	550	454	325	268	563	+ 17	+ 98	16,66 %	11,2 %
3	150	400	300	300	225	788	+ 88	+ 354	27,27 %	14,37 %
4	100	300	205	275	188	976	+ 181	+ 570	43,75 %	17,4 %
5	100	200	124	250	155	1.131	+ 255	+ 673	30,00 %	19,2 %
6	60	140	80	200	113	1.244	+ 324	+ 745	70,00 %	20,7 %
7	60	80	41	150	77	1.321	+ 362	+ 742	64,28 %	21,4 %
8	50	30	14	65	30	1.351	+ 365	+ 682	18,75 %	21,4 %
9	30	-	-	25	11	1.362	+ 362	+ 630	- 16,66 %	21,0 %
10	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-

Symbolerklärung: A = Anschaffungswert; $R'(n)$ = Restwertabfall; $R(n)$ = Restwert; v^n = Abzinsungsfaktor; $Q(t)$ = Einnahmeüberschuß der Periode t; K_1 = Kapitalwert der Investition ohne Nachfolger; K_a = Kapitalwert der Investitionskette; $\frac{Q(n) - [-R'(n)]}{R(n)}$ = Grenzrentabilität (Rentabilität der Periode n).

81) K_a ist die Summe einer unendlichen Reihe von gleichen Kapitalwerten. Im Fall einer einjährigen Nutzungsdauer der Kettenglieder betragen die Kapitalwerte - 23 (Vgl. Spalte 8); bei zweijähriger Nutzungsdauer der Kettenglieder betragen sie + 17 (Vgl. Spalte 8) usw. Die Berechnung von K_a geschieht jeweils nach der Formel (2), S.

3) $R'(n)$ wurde bei der Berechnung der Grenzrentabilität der Restwert am Ende des Vor- (Fortsetzung der Fußnote S. 76)

Die Nutzungsdauer nach der Kapitalwert-Methode ohne Annahme der identischen Wiederholung richtet sich nach der Höhe des Kalkulationszinsfußes. Sie ist dann beendet, wenn der marginale Zinsfuß gleich dem Kalkulationszinsfuß ist⁸⁴⁾. Bei der Nutzungsdauer-Ermittlung nach der Internen-Zinsfuß-Methode richtet sie sich nach dem maximalen durchschnittlichen internen Zinsfuß. Eine Investition ist aber nur dann wirtschaftlich, wenn ihr interner Zinsfuß höher ist als der Kalkulationszinsfuß. Deshalb muß die Nutzungsdauer zwangsläufig länger ausfallen, wenn sie nach der Kapitalwert-Methode errechnet wird. Nach der Internen-Zinsfuß-Methode hört die Nutzungsdauer nämlich schon auf, wenn die Grenzrentabilität gleich der Durchschnittsrentabilität ist. Im praktischen Fall kann sich der Unterschied als unerheblich erweisen, wie unser Beispiel zeigt.

Welche der beiden Methoden ist richtig? Unter der Annahme, daß keine identische Wiederholung und auch keine Wiederholung sonstiger Art außer der Anlage oder Aufnahme des Kapitals zum Kalkulationszinsfuß stattfindet, ist nur die Kapitalwert-Methode richtig. Sie dehnt die Nutzungszeit der Anlage solange aus, bis sich die dabei ergebende Grenzrentabilität gleich der Rendite der infrage kommenden Alternative, d.h.

Fortsetzung der Fußnote 82) von S. 75:

jahres eingesetzt.

83) Der jeweilige interne Zinsfuß wurde durch Probierer ermittelt. Bei einer einjährigen Nutzungsdauer pro Kettenglied beträgt der interne Zinsfuß 7,5 %. Er steigt bis auf 21,4 % bei 7 bzw. 8 Jahren Nutzungsdauer an, um dann wieder abzusinken.

84) Vgl. hierzu die Darstellung bei Lutz, Friedrich und Vera, The Theory of the Investment of the Firm, S. 21.

gleich dem Kalkulationszinsfuß ist. In diesem Zeitpunkt erreicht der Kapitalwert sein Maximum. Die Interne-Zinsfuß-Methode hingegen maximiert auch in dieser Situation die Rentabilität statt des Gewinns. Die Nutzungsdauer wird abgebrochen, wenn das Maximum des internen Zinsfußes erreicht ist. Nach Abbruch der Nutzungsdauer im Internen-Zinsfuß-Maximum bringen die nächsten Perioden nur eine Verzinsung zum Kalkulationszinsfuß, während bei einer Ausdehnung bis zu dem Punkt, bei welchem die Grenzrendite gleich dem Kalkulationszinsfuß ist, eine höhere Verzinsung erreicht werden könnte. Die Interne-Zinsfuß-Methode unterstellt also auch hier, daß die Alternative zu der infrage stehenden Investition eine Investition mit gleicher Rendite ist. Diese Annahme ist jedoch bei einer Investition ohne Nachfolger unbegründet. Die Interne-Zinsfuß-Methode darf daher in diesem Falle nur in der Weise angewandt werden, daß auch bei ihr die Nutzungsdauer solange ausgedehnt wird, bis der Periodengewinn gleich der Verzinsung des Restwertes zum Kalkulationszinsfuß zuzüglich dem Restwertabfall ist. Das bedeutet nichts anderes als die Ausdehnung der Nutzungsdauer bis zu dem Zeitpunkt, bei dem der marginale interne Zinsfuß gleich dem Kalkulationszinsfuß ist. Nur in diesem Falle stimmen die Lösungen der beiden Methoden überein.

Wie verhält es sich aber, wenn im Nutzungsdauer-Modell identische Nachfolge unterstellt wird?

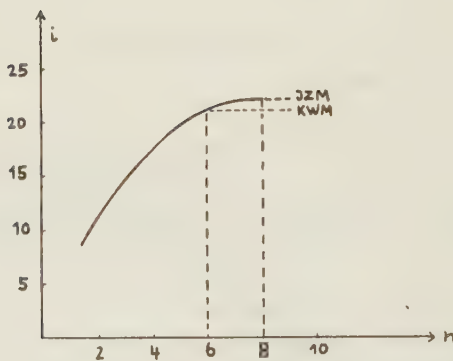
Nach der Kapitalwert-Methode wird dann die Nutzungsdauer solange ausgedehnt, bis der Gesamtkapitalwert ein Maximum erreicht. Das ist dann der Fall, wenn der Periodenüberschuß der Summe aus

Restwertabfall der Periode
Verzinsung des Restwerts der Periode
zum Kalkulationszinsfuß
Verzinsung des Kapitalwerts aller
Nachfolger zum Kalkulationszinsfuß

gleichet.

Bei der Internen-Zinsfuß-Methode hingegen wird die Nutzungsdauer wiederum solange ausgedehnt, bis der marginale Zinsfuß die Höhe des Durchschnittszinsfußes erreicht hat. Der marginale Zinsfuß hat dann gleichzeitig die Durchschnittsrendite des Nachfolgers erreicht. Das ist deshalb so, weil "identisch" nichts anderes als gleiche Rentabilität bedeutet. Durch die identische Wiederholung gelingt es, das Rentabilitätsniveau der gesamten Kette auf der Höhe der maximalen internen Verzinsung der ersten Investition zu stabilisieren.

Nun zeigt unser Beispiel (Tabelle 3 S. 75), daß bei einer unendlichen Kette die Nutzungsdauer der Kettenglieder bei der Kapitalwert-Methode kürzer ausfällt als bei der Internen-Zinsfuß-Methode. Das kann nur bedeuten, daß das Rentabilitätsniveau der Kette bei der Kapitalwert-Methode auf einem tieferen Stand festgelegt wird; denn bei dieser kürzeren Nutzungsdauer ist das Maximum der Durchschnittsrentabilität noch nicht erreicht.



IZM = Interne Zins-
fuß-Methode
KWM = Kapitalwert-
Methode

i = Zinsfuß

n = Nutzungsdauer

Abbildung 1

Im Falle der identischen Wiederholung wäre also die Interne-Zinsfuß-Methode der Kapitalwert-Methode vorzuziehen. Ungeklärt ist aber, warum die Kapitalwert-Methode zu diesem Ergebnis kommt. Es seien daher die Prämissen überprüft, auf denen die Kapitalwert-Methode im Falle der identischen Wiederholung beruht.

Die Kapitalwert-Methode unterstellt sowohl die identische Wiederholung als auch die Möglichkeit, jeden beliebigen Betrag zum Kalkulationszinsfuß leihen und anlegen zu können. Durch letztere Annahme unterscheidet sie sich von der Internen-Zinsfuß-Methode. Der Ersatz einer Anlage bedeutet ökonomisch, daß der Kapitalwert der Kette sofort zum Kalkulationszinsfuß angelegt werden kann. Ein Aufschub würde bedeuten, daß der Kapitalwert der Kette erst nach Ablauf der Aufschubfrist zum Kalkulationszinsfuß angelegt werden kann, daß außerdem der Restwert für diese Zeitdauer gebunden ist und dazu noch ein Restwertabfall entsteht.

Deshalb wird die Nutzungsdauer nur dann verlängert, wenn der Gewinn der Ausdehnung mindestens

1. die Zinsen auf den Kapitalwert der nachfolgenden Kette,
2. die Zinsen auf den Restwert und
3. den Restwertabfall der Ausdehnungsperiode

deckt. Als Zinssatz wird dabei der Kalkulationszinssatz eingesetzt. Mit der Annahme, den Kapitalwert der Kette anlegen zu können, berücksichtigt die Kapitalwert-Methode die Rendite aus der erneuten Anlage der Überschüsse.

Die Interne-Zinsfuß-Methode berücksichtigt hingegen die erneute Anlage der Rückflüsse nicht ausdrücklich. Wir haben bereits gezeigt⁸⁵⁾, daß bei dieser Methode das Ergebnis in folgender Form vorliegt:

85) Vgl. unsere Ausführungen, S. 36.

Die Zahlungsströme einer Investition werden so umgerechnet, als finde ein Kapitaleinsatz am Anfang der Nutzungsdauer statt, dessen Freisetzung am Ende der Nutzungsdauer in gleicher Höhe erfolgt; die Verzinsung des Kapitals in Höhe des internen Zinsfußes geschehe gleichmäßig über die Nutzungsdauer verteilt; die absolute Höhe der Erträge entspricht dann dem Produkt aus dem Kapitaleinsatz und dem internen Zinsfuß.

Am Ende der Nutzungsdauer steht also nach den Prämissen der Internen-Zinsfuß-Methode genau der Betrag zur Verfügung, der zur identischen Wiederholung gebraucht wird. Die während der Nutzungsdauer erwirtschafteten Überschüsse werden nicht nochmals daraufhin untersucht, wie hoch sich ihre erneute Anlage rentiert. Nun bedeutet aber die Außerachtlassung der Anlage von Überschüssen nichts anderes als die Unterstellung, die Rückflüsse rentierten sich zum jeweiligen internen Zinsfuß. Das läßt sich dadurch nachweisen, daß die Interne-Zinsfuß-Methode den internen Zinsfuß als Kalkulationszinsfuß benutzt. Der Kalkulationszinsfuß repräsentiert aber die "Umgebung" einer Investition bezüglich der Investitionschancen und deren Rendite.

Damit wird das Dilemma beider Methoden erneut deutlich. Die Kapitalwert-Methode berücksichtigt ausdrücklich die Wiederanlage der Überschüsse, indem sie annimmt, die Überschüsse werden zum Kalkulationszinsfuß angelegt. Eine exakte Bestimmung des Kalkulationszinsfußes ist aber nicht möglich. Diese Schwierigkeit besteht für die Interne-Zinsfuß-Methode nicht, denn sie kommt ohne Kalkulationszinsfuß aus, soweit sie sich auf die isolierte Betrachtung von Einzelinvestitionen und deren identische Nachfolger beschränkt und auf den Vergleich konkurrierender Investitionen verzichtet. Sie unterstellt aber, daß die Rückflüsse jeweils zum internen Zinsfuß der Ausgangsinvestition angelegt werden. Diese Unterstellung erscheint zumindest im Zusammenhang mit der Beurteilung einzelner Investitionen als wirklichkeitsfremd.

Das Ergebnis ändert sich allerdings, wenn es nicht nur um die Analyse einzelner Investitionen geht, sondern um die anschließende Zusammenstellung vieler Investitionen zu einem Investitionsprogramm. In diesem Falle läßt sich nachweisen, daß die Interne-Zinsfuß-Methode die richtigen Annahmen macht und daß sie sogar die einzige Methode ist, mit der die Nutzungsdauer widerspruchsfrei gelingt.

Die bisher behandelte Einzelanalyse und die Nutzungsdauerermittlung bilden die Grundlage zur Bestimmung des optimalen Investitionsprogramms. Bei der Durchführung eines Investitionsprogramms kommen nebeneinander die unterschiedlichsten Vorhaben mit voneinander abweichenden internen Zinsfüßen zum Zuge. Die letzte, gerade noch akzeptierte Investition wird dann einen internen Zinsfuß aufweisen, der gerade ausreicht, die teuerste, gerade noch akzeptierte Finanzierungsart zu bezahlen. Die beste Investition wird im Vergleich dazu einen hohen internen Zinsfuß aufweisen. Dazwischen liegen alle anderen Investitionen, deren interne Zinsfüße auf irgendeine Weise zwischen den beiden Extremen verteilt sind. Die Durchschnittsverzinsung des gesamten Programms ergibt sich aus der Summe der mit dem jeweiligen Kapitaleinsatz gewichteten internen Zinsfüße der einzelnen Investitionen. Würde man nun unterstellen, daß die Rückflüsse der Investitionen wieder zu diesem gewogenen Durchschnittszinssatz der im Kalkulationszeitpunkt geplanten Investitionen angelegt werden können, so ließe sich gegen diese Beurteilung der zukünftigen Anlagechancen wenig einwenden. Das, was am Ende der Nutzungsdauer bei allen Investitionen unterstellt wird, nämlich die identische Wiederholung in bezug auf die Rendite, würde nun auch für die Nutzungszeit selbst gelten. Es handelt sich also nur um die Verallgemeinerung der Prämisse, daß alle Rückflüsse aus den Investitionen einschließlich der Überschüsse bei der Neuanlage die gleiche Durchschnittsverzinsung bringen, wie das geplante Programm selbst.

Nun wird zwar bei der Internen-Zinsfuß-Methode keine Durchschnittsverzinsung berechnet. In der Wirklichkeit läuft

aber die Annahme, die Überschüsse jeder einzelnen Investition ließen sich genau zu dem gleichen internen Zinsfuß anlegen, wie ihn die Investition selbst erwirtschaftet, auf eine Durchschnittsbildung hinaus. Wenn nämlich jeder einzelne Überschuß genau denselben internen Zinsfuß bringt, den die jeweilige Investition selbst erwirtschaftet, so bringen alle Überschüsse zusammen den gewogenen Durchschnittszinsfuß⁸⁶⁾. Die Annahme, daß Überschüsse und Rückflüsse aus allen Investitionen eines Programms sich zu einem bestimmten Durchschnittszinsfuß verzinsen, steht also nicht im Widerspruch zu der Annahme, daß sich bei jeder einzelnen Investition die Überschüsse wieder zu dem für diese Investition geltenden internen Zinsfuß anlegen lassen.

Die der Internen-Zinsfuß-Methode zugrunde liegende Annahme, die Überschüsse rentierten sich zum internen Zinsfuß der jeweiligen Investition, ist daher dann nicht wirklichkeitsfremd, wenn es sich um viele Investitionen im Rahmen eines Programms handelt. Anders liegt der Fall allerdings beim Alternativvergleich mehrerer sich ausschließender Investitionen. Hier wird die Annahme, die Überschüsse könnten stets zum jeweiligen internen Zinsfuß erneut angelegt werden, mit recht als zu optimistisch bezeichnet⁸⁷⁾. Dagegen muß sie bei der Planung mehrerer, gleichzeitig durchführbarer Investitionen in Form eines Programms als einleuchtende Unterstellung bezeichnet werden.

Wir sehen also, daß der Internen-Zinsfuß-Methode die Annahme zugrunde liegt, es ließe sich bei der Anlage der Überschüsse in der Zukunft ein bestimmter Durchschnittszinssatz erzielen. Dieser Durchschnittszinssatz ergibt sich aus den internen Zinsfüßen aller Investitionen, die in den kommenden Perioden durchgeführt werden. Wir wollen nun prüfen, ob wir die Vorstellung eines in Zukunft erzielbaren Durchschnittszinssatzes auch bei der Kapitalwert-Methode verwenden können.

86) Vgl. hierzu auch Jacob, H[erbert], S. 500.

87) So z.B. Heister, Matthias, Rentabilitätsanalyse, S 141 ff.

Bei der Darstellung des einfachsten Kapitalwert-Modells hatten wir festgestellt, daß der Kalkulationszinsfuß die geforderte Mindestverzinsung zum Ausdruck bringt. Da der Investor die zukünftige Durchschnittsverzinsung als erreichbar ansieht, erhebt sich die Frage, ob er sie auch als Mindestverzinsung und damit als Kalkulationszinssatz verwenden kann.

Die geforderte Mindestverzinsung richtet sich, wie wir bereits gezeigt haben, entweder nach der anderweitigen Verwendungsmöglichkeit des Kapitals oder nach den Kapitalbeschaffungskosten. Liegt die Verzinsung der alternativen Verwendungsmöglichkeit über dem Zinssatz, der für die Kapitalbeschaffung zu zahlen ist, so bestimmt in jedem Fall die alternative Kapitalverwendungsmöglichkeit die zu fordernde Mindestverzinsung⁸⁸⁾.

Wie ist aber vorzugehen, wenn nicht nur eine, sondern viele alternative Anlagemöglichkeiten und Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten gegeben sind? Der Gedanke liegt nahe, sowohl bei den Anlagemöglichkeiten als auch bei den Beschaffungsmöglichkeiten eine Durchschnittsbildung vorzunehmen und auch hier wieder die durchschnittliche Rendite der möglichen Anlagen als Mindestverzinsung anzusetzen, wenn sie über den durchschnittlichen Zinsen für die Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten liegt. Wenn letzteres zutrifft, können wir die Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten einschließlich deren Kosten ausklammern. Bei den Kapitalanlagen interessiert aber nicht der Durchschnitt aus allen zukünftigen Anlagemöglichkeiten, weil man die ungünstigen ohnehin nicht durchführen wird. Deshalb ist der Durchschnitt aus denjenigen Anlagemöglichkeiten zu bilden, die wegen ihrer Ergiebigkeit voraussichtlich durchgeführt werden. Die sich hieraus ergebende Durchschnittsverzinsung ist bei richtiger Auswahl der Projekte offenbar zu erreichen; bei sorgfältiger Planung ist es unwahrscheinlich, daß die effektive Durchschnittsverzinsung hinter diesem Satz zurückbleibt oder daß sie ihn

88) Vgl. unsere Ausführungen S. 30.

wesentlich überschreitet. Es ist deshalb zu vertreten, wenn man die zu erwartende zukünftige Durchschnittsverzinsung als Mindestverzinsung und damit als Kalkulationszinsfuß ansetzt.

Nun haben unsere Überlegungen zwar gezeigt, daß der Kalkulationszinsfuß im Falle mehrerer Anlagemöglichkeiten dem Durchschnittszinssatz aus den in der Zukunft effektiv realisierten Projekten gleichgesetzt werden muß. Wir haben jedoch noch nicht geprüft, ob man diesen Zinssatz ex ante ermitteln kann und ob man zu sinnvollen Ergebnissen kommt, wenn man ihn in die Rechnung einsetzt. Das ist aus zwei Gründen zu verneinen:

1. Die Durchschnittsverzinsung ist nur zu ermitteln, wenn man die Verzinsung aller einzelnen Investitionen des Programms kennt. Nutzungsdauer und Verzinsung der Einzelinvestitionen müssten zu diesem Zwecke vorher berechnet werden. Soll dies nach der Kapitalwert-Methode geschehen, so wird bereits in diesem Stadium der Rechnung ein Kalkulationszinsfuß gebraucht. Die Durchschnittsverzinsung kann also auf diesem Wege gar nicht berechnet werden. Das Problem könnte nur dadurch umgangen werden, daß die zukünftige Durchschnittsverzinsung anhand der bisherigen Ergebnisse geschätzt wird.
 2. Die Verwendung der geschätzten Durchschnittsverzinsung bei der Berechnung der Kapitalwerte der einzelnen Investitionen würde aber bedeuten, daß alle unter dem Durchschnitt liegenden Investitionen einen negativen Kapitalwert erzielen würden und damit abzulehnen wären. Dadurch ergäbe sich eine neue zukünftige Durchschnittsverzinsung, die über der tatsächlichen Durchschnittsverzinsung der zukünftigen Investitionsmöglichkeiten liegt⁸⁹⁾. Die Kapitalwert-Methode setzt in diesem Falle
-
- 89) Es liegt der gleiche Fall vor, den Moxter bei der Kritik des von Albach abgeleiteten Zinsfußes zur Programmaufstellung anmerkt. Vgl. Moxter, Adolf, Lineares Programmieren und betriebswirtschaftliche Kapitaltheorie, S. 290 ff. Vgl. hierzu auch Jacob, H[erbert], S. 499, Fußnote 7).

zwar die richtige Annahme in bezug auf die Verzinsung der anzulegenden Überschüsse (effektive Durchschnittsverzinsung der zukünftigen Investitionen). Sie verwendet aber ein falsches Auswahlkriterium; es werden Investitionen abgelehnt, die im Rahmen der gegebenen Investitions- und Ertragsmöglichkeiten offenbar durchgeführt werden müssten.

Die Kapitalwert-Methode führt also in das Dilemma, daß zwar das Wesen des Kalkulationszinsfußes als Durchschnittszinsfuß nachgewiesen werden⁹⁰⁾, aber mit diesem Zinssatz nicht operiert werden kann⁹¹⁾. Der exakte Kalkulationszinsfuß ergibt sich als Nebenprodukt nach der Lösung des eigentlichen Problems mit Hilfe der Internen-Zinsfuß-Methode. Dann wird er aber nicht mehr gebraucht. Auch die Bestimmung des Kalkulationszinsfußes als Grenzzinssatz der letzten, noch akzeptierten Investition, die wiederholt vorgeschlagen wurde⁹²⁾, setzt die vorherige Bestimmung der Nutzungsdauer zusammen mit dem internen Zinsfuß der einzelnen Investitionen nach der Internen-Zinsfuß-Methode voraus. Der auf diese Art ermittelte Kalkulationszinsfuß wird aber ebenfalls nicht mehr gebraucht. Die Auswahl der Investitionen läßt sich anhand der internen Zinsfüße vornehmen. Außerdem spiegelt der Grenzzinssatz nicht die Rendite der zukünftigen Investitionen wieder. Er gibt die geringste Rendite des Programms an. Es ist aber anzunehmen, daß die zukünftigen Investitionschancen der Durchschnittsrendite und nicht der Grenzrendite entsprechen.

90) Vgl. unsere Ausführungen S. 83.

91) Zur gleichen Feststellung kommt Hax, Herbert, Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 434.

92) Vgl. hierzu z.B. Moxter, Adolf, Die Bestimmung des Kalkulationszinsfußes bei Investitionsentscheidungen, S. 186.

Wir kommen damit zu dem Ergebnis, daß zur Nutzungsdauerbestimmung im Rahmen von Investitionsprogrammen nur die Interne-Zinsfuß-Methode verwendbar ist. Die Anwendung der Kapitalwert-Methode scheitert daran, daß es nicht möglich ist, den richtigen Kalkulationszinsfuß ex ante zu ermitteln, und daß es auch nicht gelingt, mit Hilfe eines richtig geschätzten Kalkulationszinsfußes das optimale Programm zu bestimmen.

Die Anwendung der Internen-Zinsfuß-Methode zur Nutzungsdauerbestimmung bei identischer Wiederholung bedeutet, daß die Finanzierungskosten keinen Einfluß auf die Nutzungsdauer haben. Die Bestimmung der Nutzungsdauer und damit gleichzeitig des internen Zinsfußes der Investition richtet sich ausschließlich nach den Zahlungsreihen des Vorhabens selbst. Die Finanzierungskosten bleiben in diesem Planungsstadium außerhalb der Betrachtung. Es wird noch zu zeigen sein, wie sich bei der Zusammenstellung eines Investitionsprogramms die Finanzierungskosten auf die Investitionsentscheidungen auswirken werden.

Wir haben vorstehend die Grundformen der Modelle zur Bestimmung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer beschrieben. Eine andere Form hat Terborgh entwickelt⁹³⁾; es handelt sich dabei aber nur um eine Abwandlung des hier beschriebenen Kapitalwert-Modells.

Bei den bisher beschriebenen Modellen sind wir zunächst von einer vorgegebenen Nutzungsdauer ausgegangen. Wir haben dann dieses einfache Modell dadurch erweitert, daß wir einmal die

93) Vgl. Terborgh, George, Dynamic Equipment Policy, bes. S. 74-112; vgl. hierzu auch Schindler, Heinz, Investitionsrechnungen, S. 97, Fußnote 303. Zum Terborgh'schen Modell vgl. auch Schindler, Heinz, Investitionsrechnungen auf der Basis neuer theoretischer Erkenntnisse, In: ZfhF, NF, 8. Jg. (1956), S. 462-486; ferner Reismann, Arnold, und Buffa, Elwood, S., A General Model for Investment Policy, In: Management Science, Vol. 8 (1962), S. 304-310, hier S. 309.

Prämisse einer vorgegebenen Nutzungsdauer fallen ließen und zum anderen Annahmen über zukünftige Anlagemöglichkeiten und über Restverkaufserlöse ausdrücklich in das Modell einbauten. Diese Modelle berücksichtigen aber nicht, daß es in der Wirklichkeit nur selten darum geht, einzelne Investitionen aus einer Fülle von Möglichkeiten auszuwählen. In der Regel sind zahlreiche Investitionen nebeneinander durchzuführen und das Problem liegt in der Zusammenstellung optimaler Investitionsprogramme. Mit den sich dabei ergebenden rechnerischen Problemen befaßt sich Kapitel B.

Zuvor soll aber noch bei den Modellen der Einzelanalyse geprüft werden, welche Abwandlungen sich ergeben, wenn die Prämissen den in der Praxis gegebenen Bedingungen angepaßt werden.

II. Die Modelle der Einzelanalyse unter den in der Praxis herrschenden Bedingungen

1. Vorbemerkungen

Die praktische Investitionsplanung läuft nicht unter Modellbedingungen ab. Demzufolge wird man schon bei der Einzelanalyse versuchen, die Modellannahmen durch die in der Wirklichkeit anzutreffenden Bedingungen zu ergänzen oder gar zu ersetzen, falls sie mit den Modellannahmen unvereinbar sind.

Die erste Modellannahme dieser Art ist die Hypothese eines vollkommenen Kapitalmarktes. Es steht von vornherein fest, daß es in der Wirklichkeit keinen vollkommenen Kapitalmarkt gibt. Infolgedessen kann man auch nicht von der Annahme eines vorgegebenen Kalkulationszinsfußes ausgehen. Aus diesem Grunde ist für die Einzelanalyse das Kapitalwert-Modell nicht verwendbar, weil man den Kapitalwert nur berechnen kann, wenn man den Kalkulationszinsfuß kennt. Wir werden deshalb im folgenden bei der Einzelanalyse ausschließlich das Interne-Zinsfuß-Modell zugrunde legen. Nun haben

wir allerdings nachgewiesen, daß für die Entscheidung zwischen konkurrierenden Investitionen auch bei der Interne-Zinsfuß-Methode die Kapitalmarktsituation berücksichtigt werden muß. Diese findet ihren Ausdruck im Kalkulationszinsfuß, so daß die Entscheidung ohne Kenntnis des Kalkulationszinsfußes bei der Internen-Zinsfuß-Methode nicht möglich ist. Diese Überlegung gilt jedoch nur für die Konstellation des vollkommenen Kapitalmarktes. Welche Änderungen ergeben sich, wenn man die Prämisse aufhebt? Die Interne-Zinsfuß-Methode bietet hier zunächst den Vorteil, daß zur Berechnung des internen Zinsfußes keinerlei Angaben über die Kapitalmarktsituation erforderlich sind. Zur Entscheidung muß allerdings wieder die Kapitalmarktsituation herangezogen werden. Diese Entscheidung über die Durchführung der einzelnen Projekte wird aber erst bei der Aufstellung der Investitionsprogramme gefällt, wobei natürlich die Kapitalmarktkonstellation berücksichtigt werden muß. Bei der vorausgehenden Einzelanalyse kann sie dagegen außer Betracht bleiben. Damit beschränkt sich die folgende Darstellung der Einzelanalyse auf die Verifizierung der Internen-Zinsfuß-Methode.

Die zweite Modellannahme, die offensichtlich in der Wirklichkeit nicht gegeben ist, besteht in der Unterstellung, alle zur Ermittlung des internen Zinsfußes einer Investition erforderlichen Daten über Ein- und Auszahlungen könnten beschafft werden. Die Modelle lassen die Frage offen, wie die Daten beschafft werden können. Wir müssen uns deshalb wenigstens im Überblick mit der Frage der Datenbeschaffung befassen und anschließend prüfen, wie die Modelle abzuwandeln sind, wenn die Daten über die Zahlungsreihen nur unvollständig vorliegen.

Die dritte Modellannahme betrifft die Eindeutigkeit und Sicherheit der erforderlichen Zahlenunterlagen. Die Einnahmen und Ausgaben, die im Modell verlangt werden, sind in Wirklichkeit geschätzte Zukunftsgrößen. Ihre Glaubwürdigkeit läßt sich erst dann beurteilen, wenn in einer Risikoanalyse untersucht wird, welche Faktoren die erwarteten Zahlungen

verändern könnten. Deshalb ist die Datenbeschaffung durch eine Risikoanalyse zu ergänzen. Die Risikoanalyse liefert die Anhaltspunkte dafür, mit welchen Werten die Zahlungen endgültig in die Rechnung einzusetzen sind.

Die vierte Modellannahme besteht darin, daß der Investor seine Entscheidung anhand einer einzigen Kennzahl, nämlich des internen Zinsfußes fällt. In Wirklichkeit wird sich der Investor aber durch Analyse der vorliegenden Daten zusätzliche Information beschaffen, die ihm bei der Beurteilung der geplanten Vorhaben nützlich sein könnten. Deshalb ist zu prüfen, welche zusätzlichen Erhebungen der Investor vornehmen kann, und welche Möglichkeiten für ihn bestehen, diese Informationen, etwa durch Bildung weiterer Kennzahlen, auszuwerten. Wesentlich ist dabei insbesondere die Auswertung der Risikoanalyse, etwa durch Bildung von Risikokennzahlen. Diese Fragen sollen im folgenden in ihrer Auswirkung auf die Entscheidung untersucht werden.

2. Voraussetzungen zur Durchführung der Einzelanalyse

a) Die Datenbeschaffung als Grundlage zur Ermittlung der Zahlungsreihen

Die Daten, die zur Ermittlung der Zahlungsreihen von Investitionen gebraucht werden, lassen sich in drei Gruppen gliedern:

- (1) Daten des Absatzmarktes
- (2) Produktionswirtschaftliche Daten
- (3) Finanzwirtschaftliche Daten.

Die Daten des Absatzmarktes bilden die Grundlage zur Ermittlung der Einnahmen einer Investition. Sie werden aber auch zur Abschätzung des marktwirtschaftlichen Risikos gebraucht und dienen ferner aber auch als Basis zur Ermittlung der produktions- und absatzwirtschaftlichen Daten und damit letztlich auch der finanzwirtschaftlichen Daten. Der Investitionsplanung muß daher eine Marktanalyse vorausgehen, aus

welcher Absatzmengen, Absatzpreise, Absatzmethoden, Struktur des Abnehmerkreises und sonstige Absatzdaten hervor-
gehen.

Über Art und Umfang der Marktanalyse kann nur gesagt werden, daß sie der Bedeutung der geplanten Investition entsprechen soll. Bei der Ermittlung der Daten des Absatzmarktes wird man die bereits vorhandene Vertriebsstatistik heranziehen. In anderen Fällen sind gesonderte Erhebungen vorzunehmen unter Heranziehung von außerbetrieblichem Informationsmaterial.

Handelt es sich um eine Investition, die zur Erstellung innerbetrieblicher Leistungen geplant wird, so kann die Datenbeschaffung sich an den bereits bestehenden Absatzplänen orientieren. Die Investition ist in diesem Falle auf einen innerbetrieblichen "Absatzmarkt" gerichtet, der mittelbar mit dem eigentlichen Absatzmarkt verbunden ist. Die Einnahmen einer solchen Investition sind nur dann Geldzuflüsse von außen, wenn die Investition zu einer Absatzerhöhung führt. Meistens tritt in diesem Fall lediglich eine Ausgabenverminderung ein, die dadurch zustande kommt, daß der bisherige Kauf der Leistungen wegfällt. Die Ausgabenverminderung kann im Rahmen der Rechnung wie eine Einnahme behandelt werden.

Neben den erwarteten Zahlungen soll die Analyse des Absatzmarktes auch die marktwirtschaftlichen Risiken erkennen lassen. Es sind daher auch solche Daten zu beschaffen, die Auskunft über mögliche Abweichungen vom erwarteten Absatz geben können. Liegen hierfür keine konkreten Informationen vor, so bleibt die Möglichkeit, denkbare Veränderungen zu beschreiben. Es ist z.B. in vielen Fällen sinnvoll, zu überlegen, ob Konkurrenten auftreten können und welche Bedingungen für sie am Markt bestehen.

Die produktionswirtschaftlichen Daten dienen in erster Linie zur Ermittlung der Ausgabenreihe einer Investition. Die Aus-

gaben setzen sich aus den Anschaffungsausgaben und den laufenden Betriebsausgaben der Investition zusammen. Die laufenden Betriebsausgaben werden durch die erwarteten Faktoreinsatzmengen und die Faktorpreise bestimmt. Die erwarteten Faktoreinsatzmengen richten sich nach der möglichen Absatzmenge. Diese wird nach oben begrenzt durch die Kapazität der geplanten Anlage und die Situation im Absatzmarkt. Sie kann sich aber vermindern, wenn zusätzliche Engpässe auftreten, z.B. vor- und nachgelagerte Betriebsbereiche und der Beschaffungsmarkt. Derartige Engpässe bestimmen nicht nur den Mengeneinsatz und damit die Ausgaben, sondern auch die Einnahmen.

In der Praxis geht man so vor, daß man bei der Analyse des Absatzmarktes lediglich prüft, ob die durch einen Engpaß begrenzte Erzeugungsmenge abgesetzt werden kann. Die produktionswirtschaftlichen Daten haben insofern Einfluß auf die Beschaffung der Daten des Absatzmarktes.

Die produktionswirtschaftlichen Daten dienen weiterhin der Abschätzung des produktionswirtschaftlichen Risikos. Die Datenbeschaffung umfaßt aus diesem Grunde auch die Bereitstellung von Unterlagen, aus denen mögliche Störungen des geplanten Produktionsprozesses hervorgehen. Die Störungen können vom Beschaffungsmarkt her bedingt sein. Sie hängen aber auch von der Art der Erzeugungsverfahren in den vor- und nachgelagerten Stufen und nicht zuletzt von den technischen Eigenschaften des geplanten Projekts selbst ab. Ein Teil der Risiken kann durch Sicherungsmaßnahmen eingeschränkt werden, so z.B. das Beschaffungsrisiko durch eine geeignete Einkaufspolitik⁹⁴⁾ und Lagerhaltungspolitik und das Risiko einer Betriebsunterbrechung durch Abschluß von

94) Zum Risikoausgleich durch Einkaufspolitik vgl. Arbeitskreis Weber-Hax der Schmalenbachgesellschaft, Der Einkauf im Industriebetrieb als unternehmerische und organisatorische Aufgabe, Köln und Opladen 1960.

Versicherungen⁹⁵⁾. Die dadurch entstehenden Kosten gehören zu den Ausgaben der geplanten Investition.

Durch Zusammenstellung der marktwirtschaftlichen und produktionswirtschaftlichen Daten erhält man die Zahlungsreihen der Investition. Je nach der Überschaubarkeit des Marktes und der betrieblichen Verhältnisse werden die Einnahmen- und Ausgabenreihen in Umfang und zeitlicher Ausdehnung mehr oder minder vollständig sein⁹⁶⁾. Im Hinblick darauf unterscheiden wir im folgenden zwischen Investitionen mit vollständigen und Investitionen mit unvollständigen Zahlungsreihen.

Mit den produktions- und absatzwirtschaftlichen Daten liegen auch die finanzwirtschaftlichen Daten der Investition fest. Es fehlen lediglich die finanzwirtschaftlichen Daten des Unternehmens, mit denen die Zahlungsreihen der Investition in Einklang zu bringen sind.

Die finanzwirtschaftlichen Daten eines Unternehmens werden im langfristigen Finanzplan festgelegt. Er enthält die durch Entscheidungen bereits festgelegten Einnahmen- und Ausgabenreihen des Unternehmens, soweit sie prognostiziert werden können. Die zukünftigen Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten gehören ebenfalls zu den finanzwirtschaftlichen Daten, die zur Vorbereitung der Investitionsentscheidung herangezogen werden müssen. Sie können mit den Daten des Finanzplans zusammengefaßt werden. Der resultierende Plan

95) Vgl. hierzu Hax, Karl, Die Betriebsunterbrechungsversicherung, 2. Aufl., Köln und Opladen 1965.

96) Die Schwierigkeiten bei der Datenbeschaffung werden von uns nicht übersehen. Wir behandeln im folgenden auch die Fälle, bei denen die Daten nur teilweise beschafft werden können. Vgl. zu diesem Problem, Schwarz, Horst, Ungewißheitstheorien und ihre Bedeutung für Ertrags-schätzungen im Rahmen von Investitionsrechnungen, In: BFuP, 15. Jg. (1963), S. 551-572, hier S. 553 und die dort angegebene Literatur, insbesondere Gutenberg, Erich (Hrsg.), Absatzplanung in der Praxis, Wiesbaden 1962.

bestimmt die Obergrenze des Kapitalvolumens, das zu Investitionszwecken zur Verfügung steht.

Die Zusammenstellung der Finanzquellen braucht nur für den Zeitraum vorgenommen zu werden, in welchem für die geplante Investition ein Kapitalbedarf besteht. Finanzwirtschaftliche Risiken treten auch nur für diesen Zeitraum auf. Sie können dadurch entstehen, daß auf der einen Seite der geschätzte Kapitalbedarf überschritten wird und/oder auf der anderen Seite die Prognose über Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten sich als unzutreffend erweist. Daraus erwächst die Gefahr einer zeitweiligen Zahlungsunfähigkeit des Unternehmens. Eine Verminderung des Finanzrisikos kann durch die Planung einer Sicherheitsspanne an finanziellen Mitteln erreicht werden. Eine solche Sicherheitsspanne ist immer dann vorhanden, wenn die Überschüsse des Finanzplans zusammen mit den Möglichkeiten, zusätzlich Kapital zu beschaffen, nicht voll für Investitionen beansprucht werden.

Mit der Beschaffung der finanzwirtschaftlichen Unterlagen ist die Ermittlung der notwendigen Daten abgeschlossen. Es liegt auf der Hand, daß die Qualität der Datenbeschaffung von ausschlaggebender Bedeutung für die Investitionsrechnung ist. Im Hinblick auf die besondere Zielsetzung dieser Arbeit begnügen wir uns aber mit dem vorstehenden Überblick.

b) Die Bewertung der Zahlungsreihen mit Hilfe der Risikoanalyse

Die Unterlagen, die nach abgeschlossener Datenbeschaffung vorliegen, spiegeln die Verhältnisse wieder, die im Zeitpunkt der Datenbeschaffung herrschen. Sie enthalten aber nicht nur Angaben über die in diesem Zeitpunkt bereits feststehenden Vorgänge, sondern auch über die in diesem Zeitpunkt bestehenden Erwartungen. Dabei handelt es sich um sehr unterschiedliche Erwartungen: Einige gelten als sicher und können ohne weiteres als Grundlage zur Investitionsplanung herangezogen werden; andere beruhen auf fragwürdigen

Hypothesen und halten einer genaueren Analyse nicht stand; sie müssen schon im Zeitpunkt der Planung revidiert werden. Für eine ganze Reihe zukünftiger Einflußgrößen werden noch keine direkt verwertbaren Angaben vorliegen. Der Investor muß zur Beurteilung dieser Faktoren die vorhandenen Daten analysieren und im Anschluß daran seine eigenen Erwartungen entwickeln. Es zeigt sich jedenfalls, daß es zwar möglich sein wird, anhand der beschafften Daten einen Zahlungsverlauf für die einzelnen Investitionen abzuleiten; dieser Zahlungsverlauf wird aber zumindest teilweise auf Erwartungen aufbauen, die der Investor ohne eingehende Prüfung der Sachlage nicht zur Grundlage seiner Planung machen kann.

Der Investor braucht aber eine Ausgangsbasis, und wir wollen deshalb davon ausgehen, daß zunächst für jede einzelne Investition anhand der vorliegenden Daten ein "vorläufiger" Zahlungsverlauf in Form einer Schätzung festgelegt wird. Dieser Zahlungsverlauf kann je nach der Qualität der vorhandenen Daten vollständig oder unvollständig sein.

Nach der Aufstellung des vorläufigen Zahlungsverlaufs hat der Investor zu klären, ob er diesen Zahlungsverlauf bei der Einzelanalyse benutzen oder ob er ihn abändern will.

Im folgenden soll geprüft werden, inwieweit er sich bei der Bestimmung der endgültigen Zahlungsreihen der Risikoanalyse bedienen kann.

Das Risiko wird hier in Anlehnung an Eucken als Gefahr der Planabweichung behandelt⁹⁷⁾. Die Planabweichung kann zu einem günstigeren oder zu einem ungünstigeren Ergebnis führen. Im ersten Fall spricht man eher von Chance als von Risiko. Die zweite Art der Abweichung stellt das eigentliche Risiko dar. Es kann zu Verlusten führen oder es kann lediglich eine

97) Vgl. Eucken, Walter, Die Grundlagen der Nationalökonomie, 6. Aufl., Heidelberg 1950, S. 141. Hax spricht von der Gefahr des Mißlingens einer geplanten Leistung und baut
(Fortsetzung der Fußnote S 95)

Gewinnminderung gegenüber dem Plan bewirken⁹⁸⁾. Was ist aber in unserem Zusammenhang als Plan zu bezeichnen? Streng genommen könnte es sich dabei eigentlich nur um den endgültigen Zahlungsverlauf handeln, denn nur die endgültig fixierten Erwartungen können Grundlage von Dispositionen, d.h. eines Planes sein. Der endgültige Zahlungsverlauf soll aber erst ermittelt werden; wir müssen deshalb vom vorläufigen Zahlungsverlauf als Basis ausgehen und bezeichnen als Risikoanalyse die Untersuchung der möglichen Abweichungen vom vorläufigen Zahlungsverlauf. Ziel dieser Analyse ist die Ermittlung des endgültigen Zahlungsverlaufs, und dazu bedarf es einer Korrektur oder Bewertung des vorläufigen Zahlungsverlaufs anhand der möglichen Abweichungen. Man wird sich fragen, ob dieses Vorgehen in zwei Stufen notwendig ist. Dafür sprechen folgende Gründe. Erstens wird man bei jeder Investitionsplanung zunächst mit überschlägigen Schätzungen arbeiten, die man zweckmäßigerweise fixiert und als Grundlage für die weiteren Überlegungen verwendet. Zweitens haben wir das Risiko als Gefahr der Abweichung vom Plan definiert; zur Erfassung dieser möglichen Abweichungen brauchen wir aber eine Grundlage; das kann nur das Ergebnis der ersten Schätzung sein, nämlich der vorläufige Zahlungsverlauf. Er leistet als Ausgangsbasis auch dann gute Dienste,

(Fortsetzung der Fußnote 97) von S. 94)
damit auf Eucken auf. Vgl. Hax, Karl, Die Betriebsunterbrechungsversicherung, S. 15. Oberparleiter definiert Risiko als die Möglichkeit eines Gefahrenereignisses, welches die betriebswirtschaftliche Leistung beeinträchtigt. Vgl. Oberparleiter, Karl, Funktionen und Risiken des Warenhandels, 2. Aufl., Wien 1955, S. 99. Diese Definition deckt sich ebenfalls mit dem hier verwendeten Begriff.

- 98) Insofern ist der hier verwendete Risikobegriff weiter gefaßt, als die in der betriebswirtschaftlichen Literatur übliche Definition, welche das Risiko (Wagnis) mit "Verlustgefahr" gleichsetzt. Vgl. hierzu Bußmann, Karl Ferdinand, Das betriebswirtschaftliche Risiko, Meisenheim/Glan 1955, S. 11-15 und S. 19 und die dort angegebene Literatur. Bezeichnet man allerdings auch die Gewinnminderung gegenüber dem Plan als Verlust, so stimmt auch die übliche mit der hier verwendeten Definition überein.

wenn die Zahlen recht willkürlich gewählt werden. Drittens läßt sich sehr oft schon bei der Aufstellung des vorläufigen Zahlungsverlaufs einer Investition beurteilen, ob sich ihre Durchführung lohnt, ob also eine weitere Analyse überhaupt in Frage kommt.

Die Aufstellung eines vorläufigen Zahlungsplans ist also weniger umständlich, als es zunächst den Anschein hat. Sie kann im Gegenteil bewirken, daß unnötiger Planungsaufwand vermieden wird.

Das Verfahren zur Ermittlung des endgültigen Zahlungsverlaufs ist dann einfach, wenn man schon auf den ersten Blick feststellen kann, daß die vorhandenen Risiken keinen Einfluß auf die Erwartungen haben werden. Die vorläufigen Zahlen sind dann mit den endgültigen Zahlen identisch.- Von dieser Konstellation kann man jedoch in der Regel nicht ausgehen. Man muß vielmehr damit rechnen, daß die vorhandenen Risiken die Erwartungen in irgendeiner Weise beeinflussen werden.

Die Risikoanalyse dient aber nicht nur der Ermittlung des endgültigen Zahlungsverlaufs. Sie soll auch zur Überprüfung der Investitionen auf ihre Vereinbarkeit mit den Sicherheitsvorstellungen des Unternehmers herangezogen werden. Deshalb hält sich unsere Beschreibung der Risikoanalyse nicht nur eng an die Faktoren, die zur Bewertung der Zahlungsreihen herangezogen werden müssen. Es werden vielmehr alle Einflußgrößen behandelt, die für das Erkennen der mit einer Investition verbundenen Gefahr wesentlich sind.

Für die weiteren Erörterungen ist es zweckmäßig, den hypothetischen Zahlungsverlauf einer Investition zu betrachten und ihn durch ein Zahlungsbild zu verdeutlichen. Man trägt zu diesem Zwecke im ersten Quadranten des Koordinatensystems auf der Ordinate die Geldeinheiten und auf der Abzisse die Zeiteinheiten ab. Die Zahlungen werden dann als kumulierte Kurven eingetragen, wobei die mittels der Inter-

nen-Zinsfuß-Methode zu erreichende Nutzungsdauer das Ende der Zahlungskurven bestimmt⁹⁹⁾. Nehmen wir an, die mit der Anschaffung verbundenen Ausgaben beliefen sich auf J Geldeinheiten; die mit dem Einsatz des Projekts verbundenen laufenden Ausgaben ergäben, zusammen mit den Anschaffungs- ausgaben aufgetragen, die Kurve JA. Die Einnahmen, ebenso in kumulierter Form dargestellt, ergäben die Kurve OE¹⁰⁰⁾.

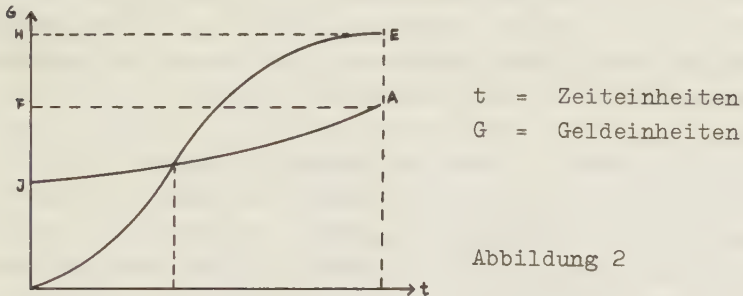


Abbildung 2

Am Ende der wirtschaftlichen Nutzungsdauer sind die Einnahmen (einschließlich des Verkaufserlöses der Anlage) auf den Betrag OH aufgelaufen, während die Ausgaben insgesamt OF ausmachen. Die Darstellung läßt den kumulierten Gewinn FG (ohne Berücksichtigung der Finanzierungskosten), die Pay-off-Periode OP und die Entwicklung des Kapitalbedarfs während der Pay-off-Periode (Dreieck OQJ) erkennen. Diese Daten bestimmen die Entscheidung mit und müssen zur weiteren Analyse herangezogen werden.

99) Die Art der Darstellung, Investitionsausgaben und -einnahmen in kumulierter Form einander gegenüberzustellen, haben wir von Riebel übernommen. Vgl. hierzu Riebel, Paul, Methoden-Probleme der wirtschaftlichen Verfahrenswahl. In: Glastechnische Berichte, 32. Jg. (1959), S. 493-500, hier S. 498.

100) Der willkürlich angenommene Einnahmenkurve-Verlauf besagt in unserem Fall, daß die Einnahmen sofort zu fließen beginnen. Das wird häufig nicht der Fall sein. Die Kurve der Einnahmen beginnt dann nicht im Koordinatenursprung, sondern auf der x -Achse.

Die einer Investition drohenden Risiken zeigen sich an ihren Wirkungen auf die Einnahmen und Ausgaben der Investition. Die einzelnen Risikoarten beeinflussen die Zahlungen nicht in gleicher Weise. Sie wirken außerdem nicht notwendig additiv, falls sie zusammen auftreten sollten, sondern sie kompensieren sich teilweise gegenseitig. Das resultierende Gesamtrisiko ist demzufolge nicht die Summe der Einzelrisiken. Die Analyse der Risiken muß daher zunächst die einzelnen Risikoarten erfassen und anschließend das Zusammenwirken der Risiken untersuchen, um zu den endgültigen Zahlungsreihen und zu den möglichen Grenzwerten zu kommen.

Wir haben die Daten in Gruppen eingeteilt, um die unterschiedlichen Ansatzpunkte der Datenbeschaffung deutlich zu machen. Diese Einteilung wollen wir auch für die Risikoanalyse beibehalten. Wir unterscheiden danach zwischen absatzwirtschaftlichem, produktionswirtschaftlichem und finanzwirtschaftlichem Risiko.

aa) Das absatzwirtschaftliche Risiko

Unter dem absatzwirtschaftlichen Risiko wollen wir alle Gefahren verstehen, die vom Absatzmarkt her die Zahlungsreihen rentabilitätsmindernd verändern könnten. In der Regel wird es sich dabei um eine Verminderung der Einnahmen handeln. Es kann aber auch eine Erhöhung der Ausgaben vorkommen, nämlich dann, wenn eine drohende Absatzeinbuße durch Marketingaufwendungen verhindert werden kann. Eine Veränderung der Einnahmen und Ausgaben ist denkbar, wenn durch Marktveränderungen eine Anpassung der Produktion veranlaßt wird.

Die Analyse des Absatzrisikos baut auf der Datenbeschaffung auf. Im Idealfall liefern die Absatzunterlagen Anhaltspunkte über die Ursachen und Auswirkungen der drohenden Risiken. Als Ursachen kommen vor allem Veränderungen der Nachfrage nach den hergestellten Produkten auf dem Gesamtmarkt und das Auftreten von Konkurrenten in Frage. Nachlassende Zah-

lungsfähigkeit der Kunden rechnen wir ebenfalls zu den Veränderungen der Nachfrage, da sie entweder eine Rückgabe der Ware bewirkt oder einen verminderten bzw. verzögerten Zahlungseingang, der auf Preiseinbußen hinausläuft. Die Wirkung des Risikos kann in einem mengenmäßigen Rückgang des Absatzes oder in einem Druck auf die Absatzpreise bzw. in einer Kombination dieser beiden Vorgänge bestehen. Die Schwierigkeiten bei der Abschätzung des Risikos bestehen einmal darin, seine Ursachen und Wirkungen im voraus zu erkennen, zum anderen aber auch darin, die optimale Reaktion auf die Datenänderungen vorauszudenken. Erst dann ist es nämlich möglich, den Umfang der Wirkungen auf die Zahlungsreihen zu bestimmen. Das Absatzrisiko wird die weiter in der Zukunft liegenden Zahlungen stärker bedrohen, als die Zahlungen der unmittelbar bevorstehenden Perioden. Falls das Absatzrisiko erst dann auftritt, wenn die Pay-off-Periode bereits überschritten ist, so besteht nur noch eine verminderte Verlustgefahr. Verluste aus der Investition können dann nur noch eintreten, wenn die laufenden Einnahmen geringer sind als die laufenden Ausgaben und die Ausgaben ganz oder zum Teil bei Produktionseinstellung weiterlaufen. Die Forderung nach einer kurzen Pay-off-Periode als Maßnahme zur Verminderung des Risikos wird durch unsere Überlegungen in gewissem Umfang bestätigt. Sie muß jedoch im Zusammenhang mit dem jeweiligen Absatzrisiko gesehen werden, das für jedes Produkt unterschiedlich ist. Die Festlegung einer generellen Soll-Pay-off-Periode, die für alle Investitionen des Unternehmens angewandt werden könnte, ist daher unzumutbar. Es ist dagegen vertretbar, für eine bestimmte Investition eine dem Absatzrisiko adäquate Pay-off-Periode als Soll zu berechnen und sie mit der erwarteten Pay-off-Periode der Investition zu vergleichen. Das Verlustrisiko wird dadurch sichtbar und kann den Gewinnchancen gegenübergestellt werden.

Durch die Analyse des Absatzrisikos erhält man die Zahlungsreihen, welche sich bei Eintritt der Gefahr ergeben werden. Diese Risiko-Zahlungsreihen kann man für die gesamte Nutzungs-

dauer der Investition aufstellen, wenn die beschafften Daten für den ganzen Zeitraum genügend Anhaltspunkte liefern. In der Wirklichkeit wird das selten vorkommen. Die Risikoanalyse muß sich in diesem Falle mit Zahlungsreihen begnügen, die vor dem Ende der erwarteten Nutzungsdauer abbrechen. Erreichen die aufgelaufenen Einzahlungen vor Abbruch der Zahlungsreihen die aufgelaufenen Ausgaben, so kann man damit rechnen, daß auch bei Verwirklichung des Risikos keine Verluste entstehen. Brechen die Zahlungsreihen ab, bevor die Summe der Einnahmen die Summe der Ausgaben erreicht hat, dann besteht die Möglichkeit eines Verlustes in Höhe der Differenz. Diese Gefahr erhöht sich dadurch, daß Risikoursachen nicht erkannt oder in ihrer Wirkung unterschätzt wurden.

bb) Das produktionswirtschaftliche Risiko

Das produktionswirtschaftliche Risiko umfaßt die mit der Bereitstellung der Produktionsfaktoren und die mit dem Produktionsablauf verbundene Gefahr der Abweichung von der Erwartung¹⁰¹⁾. Die Auswirkungen des Bereitstellungsrisikos können in einer mengenmäßigen Begrenzung der benötigten Produktionsfaktoren, in Qualitätsminderungen der Faktoren und in der Erhöhung der Beschaffungspreise bestehen. Die mengenmäßige Begrenzung führt zu Einnahmeeinbußen; die Qualitätsminderungen führen entweder direkt zu Einnahmемinderungen oder indirekt (über zusätzliche Aufwendungen in der Produktion) zu Ausgabeerhöhungen; die Erhöhung der Beschaffungspreise bewirkt eine Erhöhung der laufenden Ausgaben. Zur Feststellung des Beschaffungsrisikos stehen die Daten des Beschaffungsmarktes (Einkaufsstatistiken, Lieferanten-

101) Das Risiko der Bereitstellung (= Beschaffungsrisiko) der Produktionsfaktoren soll hier mit dem des Ablaufs als produktionswirtschaftliches Risiko zusammengefaßt werden. Wir rechnen somit die Bereitstellung in Anlehnung an Gutenberg zur Produktion. Vgl. hierzu Gutenberg, Erich, Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, 1. Bd., 3. Aufl., Berlin-Göttingen-Heidelberg 1957, S. 136.

informationen) zur Verfügung. Mit ihrer Hilfe lassen sich die Zahlungsreihen ermitteln, welche sich bei Eintritt des Beschaffungsrisikos ergeben können. Sie werden sich je nach der Überschaubarkeit des Beschaffungsmarktes und nach der Qualität der Datenbeschaffung im Idealfall für die gesamte Nutzungsdauer der Investition oder nur für einen mehr oder minder kurzen Zeitraum aufstellen lassen.

Die Schwierigkeiten der Abschätzung des Beschaffungsrisikos liegen ähnlich wie beim Absatzrisiko darin, daß es nicht darum geht, erwartete mengen-, qualitäts- und preismäßige Veränderungen gegenüber dem Zustand im Kalkulationszeitpunkt zu fixieren, sondern unerwartete Abweichungen von den für wahrscheinlich gehaltenen Werten zu durchdenken und festzuhalten. In der Praxis bereitet die Bestimmung des Bereitstellungsrisikos erhebliche Schwierigkeiten. Man versucht das Risiko durch geeignete Maßnahmen der Risikopolitik zu vermindern, indem man beispielsweise bei Werkstoffen eine entsprechende Lagerpolitik betreibt oder z. B. im Bereich der Bereitstellung von Arbeitskräften durch eine ausgewogene Personalpolitik für geeignete Mitarbeiter sorgt. Wenn solche Maßnahmen in der Vergangenheit mit Erfolg durchgeführt wurden, wird das Bereitstellungsrisiko auch in Zukunft begrenzt und für die Investitionsrechnung von geringer Bedeutung sein. Es reduziert sich auf die Veränderungen auf dem Beschaffungsmarkt, die je nach Art und Menge der benötigten Faktoren immer noch äußerst gravierend sein können. Aber gerade wegen dieser Abhängigkeit von Markteinflüssen, die man weder voraussehen, noch beherrschen kann, wird die Bestimmung des Bereitstellungsrisikos um so schwieriger, je länger der Planungszeitraum ist.

Das mit dem Produktionsablauf verbundene Risiko kann, wenn die Bereitstellung als Ursache außer Betracht bleibt, auf Fehler in der Kombination der Faktoren und auf verborgene oder unvermeidbare Mängel der bereitgestellten Faktoren zurückzuführen sein. In konkreter Form tritt das Risiko des Produktionsablaufs als Fehlbedienung von Anlagen, als Fehl-

verwendung von Werkstoffen und als fehlerhafte Information bei der innerbetrieblichen Auftragserteilung auf. Diese Fehlleistungen sind zum Teil durch die natürliche Begrenzung der menschlichen Leistungsfähigkeit bedingt. Weitere Störungen des Ablaufs kommen vor, wenn Betriebsmittel wegen Bruch von Aggregatteilen oder Funktionsstörungen ausfallen.

Die Störungen oder Unterbrechungen des Betriebsablaufs können ferner durch äußere Einwirkungen auftreten, deren Ursachen nichts mit der Produktion zu tun haben. Wir fassen hierzu alle Einflüsse von "Natur und Gesellschaft" auf den Betriebsablauf zusammen, die unvorhergesehen eintreten können. Derartige Risiken können bei den Investitionsüberlegungen nur global berücksichtigt werden.

Alle anderen Ablaufrisiken versucht man durch entsprechende Maßnahmen einzugrenzen. Die Maßnahmen bestehen beispielsweise in der systematischen Überprüfung von Werkstoffen, in der planmäßigen Wartung von Betriebsmitteln, in der Festlegung von Bedienungsanweisungen, deren Einhaltung kontrolliert wird, und in einem Vorgehen bei Erteilung innerbetrieblicher Aufträge, das eine Fehlverständigung ausschaltet. Je nach der Eigenart der Produktion lassen sich die Risiken mehr oder minder einschränken. Handelt es sich zum Beispiel um Erzeugungsprozesse, deren Beherrschbarkeit nur innerhalb technisch determinierter Grenzen möglich ist, deren Erzeugnisse aber einem engeren Toleranzbereich genügen sollen, so können die Ablaufrisiken auch nicht durch betriebliche Maßnahmen ausgeschaltet werden. Sie lassen sich nur auf ein bestimmtes Maß einschränken.

Unsere Ausführungen zeigen, wie schwierig es sein wird, das drohende Bereitstellungs- und Ablaufrisiko zu quantifizieren. In ungünstigen Fällen wird der Versuch einer Quantifizierung mit der Feststellung enden, daß von geringfügigen Gewinneinbußen bis zu erheblichen Verlusten, deren Ausmaß nicht angegeben werden kann, "alles möglich ist". In

weniger ungünstigen Fällen kann aufgrund der Erfahrungen mit ähnlichen Vorhaben eine Untergrenze festgelegt werden, deren Unterschreitung man für sehr unwahrscheinlich hält.

Das Ablaufrisiko unterliegt aber grundsätzlich anderen Einflüssen, als das Bereitstellungsrisiko und das Absatzrisiko. Es besteht kein Grund anzunehmen, daß das Ablaufrisiko in der ferneren Zukunft größer ist als in der näheren Zukunft, wenn man Funktionsstörungen der Anlagen durch Wartung und Inspektion verhindern kann. Im Gegenteil wird das Ablaufrisiko sich nach Überwindung der Anlaufzeit vermindern. Es empfiehlt sich deshalb, das Ablaufrisiko getrennt vom Bereitstellungsrisiko zu analysieren und seine Wirkung auf die Zahlungsreihen der Investition gesondert zu erfassen.

cc) Die Gegenüberstellung des absatz- und produktionswirtschaftlichen Risikos

Wird die Risikoanalyse in der beschriebenen Art durchgeführt, so erhalten wir bei Quantifizierbarkeit der einzelnen Risikoarten als Ergebnis drei verschiedene Zahlungsbilder:

- (1) Der Einnahmen-Ausgaben-Verlauf bei alleiniger Wirkung des Absatzrisikos
- (2) Der Einnahmen-Ausgaben-Verlauf bei alleiniger Wirkung des Bereitstellungsrisikos
- (3) Der Einnahmen-Ausgaben-Verlauf bei alleiniger Wirkung des Ablaufrisikos.

Diese Zahlungsbilder sind jedes für sich eine Veränderung des Einnahmen- und Ausgabenverlaufs unter der Hypothese, daß nur die jeweils isoliert betrachtete Abweichung vom Plan (Absatz oder Bereitstellung oder Ablauf) eintritt. Eine Zusammenfassung der drei Verläufe zu einem einzigen Verlauf hat Vor- und Nachteile. Der Vorteil besteht darin, daß die Kompensationen, die entstehen, falls alle Gefahren zusammen auftreten sollten, sichtbar werden. So führt beispielsweise eine Rohstoffknappheit zu bestimmten Einnahme- und Ausgabe-

verminderungen. Tritt ein mengenmäßiger Absatzrückgang hinzu, dann bestimmt in jedem Zeitpunkt die schärfere von beiden Begrenzungen die Höhe der Zahlungen. Der resultierende Zahlungsverlauf wird von beiden Einflüssen gemeinsam determiniert. Ein Nachteil der Zusammenfassung aller Risiken in einem einzigen Zahlungsverlauf besteht darin, daß die Wirkungsweise der einzelnen Risiken verdeckt wird.

Für die Entscheidung ist aber gerade von Bedeutung, welcher Risikoart man den größten Einfluß beimißt. Die Einstellung gegenüber den einzelnen Risikoarten wird von Unternehmung zu Unternehmung verschieden sein. Es wird jeweils diejenige Risikoart besondere Beachtung finden, die man als besonders drohend empfindet und der man am wenigsten durch betriebliche Maßnahmen begegnen kann. Infolgedessen kommt es darauf an, die mögliche Wirkung der einzelnen Risikoarten getrennt zu erkennen. Gegen eine Zusammenfassung der Risiken in einem einzigen Zahlungsverlauf spricht noch die Tatsache, daß mit ihrem gleichzeitigen Auftreten im allgemeinen nicht zu rechnen ist.

Das Ergebnis der Gegenüberstellung der einzelnen Risikoarten wird deshalb möglicherweise in der Benennung der bedrohlichsten Risikoart bestehen und nicht in der Zusammenfassung aller möglichen Gefahren und ihrer Auswirkungen. Läßt sich nicht von vornherein abschätzen, welches Risiko als besonders bedrohlich anzusehen ist, so bleibt keine andere Wahl, als jedes Risiko für sich zu behandeln.

Die drei Zahlungsbilder, die sich bei isolierter Berücksichtigung der Risikoarten ergeben, lassen sich noch weiter aufbereiten. Handelt es sich um vollständige Zahlungsreihen bis zum Ende der Nutzungsdauer, so kann die Analyse analog der Analyse der endgültigen Zahlungsreihen (vgl. die folgenden Ausführungen, S. 110 ff.) vorgenommen werden. In den meisten Fällen wird man jedoch lediglich die finanzwirtschaftlichen Auswirkungen in Betracht ziehen. Das ist schon deshalb naheliegend, weil nach Berücksichtigung der Risiken in

den seltensten Fällen vollständige Zahlungsreihen gegeben sein werden, da die Risiken, wenn überhaupt, nur innerhalb eines begrenzten Zeitraums abschätzbar sind. Für den verbleibenden Zeitraum können nicht einfach die erwarteten Zahlungen eingesetzt werden, weil sie die Risiken nicht berücksichtigen. Man hat also praktisch nur unvollständige Zahlungsreihen zur Verfügung. Schneidet sich die Einnahmenreihe mit der Ausgabenreihe, bevor beide abbrechen, so steht der Finanzbedarf unter Berücksichtigung der möglichen Planabweichung fest. Schneiden sie sich nicht, so bleibt der Finanzbedarf unbestimmt; außerdem weiß man nicht sicher, ob sie sich überhaupt schneiden werden, ob also nicht nur eine Planabweichung, sondern darüber hinaus ein absoluter Verlust eintreten wird.

dd) Das finanzwirtschaftliche Risiko

Können die einzelnen Risikoarten quantifiziert werden, so ist auch eine Abschätzung des finanzwirtschaftlichen Risikos möglich.

Betrachten wir zunächst den Fall, bei dem sich unter Berücksichtigung des absatzwirtschaftlichen und des produktionswirtschaftlichen Risikos Einnahmen- und Ausgabenkurven ergeben, die sich innerhalb eines Zeitraums schneiden, für den die Risiken abschätzbar sind. Die Ausgaben bei Risikoeintritt werden also durch die Einnahmen, die bei Risikoeintritt noch verbleiben, innerhalb eines feststellbaren Zeitraums abgedeckt. Infolgedessen steht die für den Risikofall geltende Pay-off-Periode fest und damit der möglicherweise auftretende Kapitalbedarf. Wird dieser dem langfristigen Finanzplan gegenübergestellt, so zeigt sich, ob für den Risikofall genügend finanzielle Mittel zur Verfügung stehen oder nicht. Überschreitet der Kapitalbedarf im Risikofall die verfügbaren Mittel, so ist noch zu prüfen, ob durch zusätzliche Mittelaufnahme eine Abdeckung möglich ist.

Diese Analyse kann für die einzelnen Risikoarten getrennt oder für eine zusammengefaßte Risiko-Zahlungsreihe vorgenommen werden, falls es möglich ist, eine Zusammenfassung vorzunehmen. Der hier geschilderte Fall betrifft nur solche Investitionen, bei denen zwar eine Planabweichung möglich ist, aber noch keine Verluste auftreten werden.

Die Situation ändert sich, wenn die Einnahmen- und Ausgabenverläufe sich nicht innerhalb des Schätzungszeitraums für die Risiken schneiden. Dann steht nämlich der Kapitalbedarf bei Risikoeintritt nicht mehr fest. Es kann zwar noch untersucht werden, wie hoch der Kapitalbedarf innerhalb des Schätzungszeitraums sein wird und ob er abgedeckt werden kann. Über den folgenden Zeitraum lassen sich jedoch nur vage Angaben machen. Weist der langfristige Finanzplan, der übrigens ebenfalls mit Risiken behaftet ist, genügend hohe Überschüsse auf, so ist damit zu rechnen, daß auch der nicht genau feststellbare Kapitalbedarf der Folgezeit gedeckt werden kann. Sind die zur Verfügung stehenden Mittel knapp bemessen, so kann der Risikoeintritt zur Illiquidität führen.

Die vorgeschlagene Risikoanalyse wird in der Praxis nur sehr selten bis zur Feststellung der oben beschriebenen finanzwirtschaftlichen Risiken vordringen. Das liegt nicht nur daran, daß es sehr schwierig ist, die Auswirkungen der Risiken auf die Zahlungen auch nur in weiten Grenzen zu erfassen. Hinzukommt, daß eine solche Analyse einen erheblichen Aufwand erfordert. Sie wird in umfassender Weise nur bei solchen Vorhaben durchgeführt werden, die von lebenswichtiger Bedeutung für die Unternehmung sind. Aber schon die gedankliche Aufteilung der Risiken in einzelne Risikoarten und deren allgemeine Beschreibung gibt den Entscheidungsorganen eine bessere Grundlage zur Beurteilung des mit einer Investition verbundenen Risikos. Deshalb sollte eine Risikoanalyse auch dann durchgeführt werden, wenn sich die aus dem Risikoeintritt ergebenden Zahlungsänderungen nicht bestimmen lassen. Sie besteht dann eben in der gedanklichen Erfassung und schriftlichen Fixierung möglicher Gefahren der Planab-

weichung anhand der zur Verfügung stehenden Daten.

Die Auswertung der Risikoanalyse besteht zunächst einmal darin, anhand der Feststellungen über die einzelnen Risikoarten und der Zahlungsverläufe bei Eintritt der Risiken den endgültigen Zahlungsverlauf für die Rechnung festzulegen. Dabei ist zu beachten, daß der endgültige Zahlungsverlauf nicht etwa die Risiken ausschalten und daher eine mögliche Untergrenze darstellen soll; vielmehr soll er die endgültigen Erwartungen des Investors zum Ausdruck bringen. Diese Erwartungen kann der Investor erst richtig fixieren, nachdem er die Risiken in der oben beschriebenen Weise analysiert hat. Es sei noch einmal ausdrücklich festgestellt, daß der daraus resultierende Zahlungsverlauf zwar unter Beachtung drohender Risiken aufgestellt wird, daß aber dabei nicht versucht wird, durch Risikoabschläge zu einem Zahlungsverlauf zu kommen, mit dem auf jeden Fall, also auch bei Eintritt der Risiken, zu rechnen ist.

Naturgemäß wird sich die Kenntnis über die möglichen Risiken bei den einzelnen Investoren unterschiedlich auswirken. Der Optimist wird angesichts drohender Risiken immer noch höhere Erwartungen haben als der Pessimist. Beide werden aber bei entsprechender Kenntnis der Risiken zu einem realistischeren Zahlungsverlauf kommen als ohne Kenntnis der Risiken. Wir sehen daher in der Risikoanalyse eine notwendige Voraussetzung für die Einzelanalyse von Investitionen. Die weitere Auswertung der Risikoanalyse werden wir im Anschluß an die modellmäßige Auswertung des Zahlungsverlaufs behandeln.

Wir können nunmehr in unserer weiteren Betrachtung davon ausgehen, daß der Investor aufgrund der Datenbeschaffung und der Risikoanalyse in der Lage ist, die Einnahmen und die Ausgaben zu fixieren, die er seiner Investitionsrechnung zugrunde legen will. Wir können aber nicht unterstellen, daß die Zahlungsreihen in jedem Falle vollständig sein werden. Es wird vielmehr eine ganze Reihe von Investitionen geben,

bei denen die Zahlungen auch nach der Datenbeschaffung und nach der Risikoanalyse nur teilweise vorliegen. Die Zahlungsreihen sind nur dann vollständig, wenn alle Einnahmen und Ausgaben, die der Investition zugerechnet werden müssen, auch tatsächlich erfaßt werden. Das sind alle Zahlungen, die bei der Unterlassung der Investition fortfallen würden. Da die Voraussetzung vollständiger Zahlungsreihen vielfach nicht gegeben ist, unterscheiden wir:

- a) Investitionen mit vollständigen Zahlungsreihen,
- b) Investitionen mit unvollständigen Zahlungsreihen.

Die Investitionen mit unvollständigen Zahlungsreihen lassen sich weiter unterteilen in:

- (1) Investitionen mit begrenzten Einnahmen- und Ausgabenreihen
 - (11) zeitlich begrenzt
 - (22) sachlich begrenzt
- (2) Investitionen ohne Einnahmenreihe.

In Fall (2) können nur die Ausgaben prognostiziert werden. Auch hier kann noch eine sachliche und zeitliche Begrenzung hinzutreten. Diese Einteilung wird der folgenden Rentabilitätsanalyse zugrunde liegen.

Für die Einordnung der Investitionen ist nicht entscheidend, mit welcher Sicherheit die Einnahmen und Ausgaben geschätzt werden können. Werden beispielsweise bei der Analyse eines Projekts alle Einnahmen- und Ausgabenarten geschätzt, so handelt es sich in unserer Untersuchung um eine Investition mit vollständigen Zahlungsreihen, obwohl die Möglichkeit besteht, daß sich später Ausgabeerhöhungen oder -senkungen und Einnahmeerhöhungen oder -senkungen gegenüber der Schätzung ergeben. Fällt dagegen bei der Schätzung eine wesentliche Einnahmen- oder Ausgabenart aus der Analyse heraus, weil keine

Anhaltspunkte für ihre Höhe gegeben sind oder weil die Schätzung aus Kostengründen unterbleibt, so liegt eine Investition mit unvollständigen Zahlungsreihen vor.

3. Die Stufen der Einzelanalyse

Nach Feststellung der endgültigen Zahlungsreihen mit Hilfe der Datenbeschaffung und der Risikoanalyse können wir uns der Analyse der Investition selbst zuwenden. Sie vollzieht sich in mehreren Stufen. Zunächst wird man die Rentabilität einer Investition ermitteln. Das genügt aber für die Entscheidung nicht; in der zweiten Stufe der Einzelanalyse werden deshalb die zusätzlichen Beurteilungskriterien geprüft. In der dritten Stufe stellt man die insgesamt gewonnenen Kriterien einander gegenüber und trifft die Entscheidung.

a) Die Rentabilitätsanalyse

Die erste Stufe bei der Durchführung der Einzelanalyse besteht in der Rentabilitätsanalyse. Wenn die Zahlungsreihen einer Investition vollzählig sind, so ist die Rentabilitätsanalyse mit der Ermittlung des internen Zinsfußes identisch. Bei unvollständigen Zahlungsreihen läßt sich der interne Zinsfuß der Investition nicht feststellen. Aber auch bei diesen Investitionen ist zu prüfen, ob sie sich rentieren. Deshalb haben wir den allgemeineren Ausdruck Rentabilitätsanalyse gewählt. Die nachfolgende Darstellung soll zeigen, wie dabei im einzelnen vorzugehen ist. Wir beginnen bei der Analyse von Investitionen mit vollständigen Zahlungsreihen.

aa) Die Analyse von Investitionen mit vollständigen Zahlungsreihen

Der Idealfall vom Standpunkt der Modellanwendung liegt vor, wenn die Einnahmen und Ausgaben eines Vorhabens sowie der Restwertverlauf des Objekts vollständig prognostiziert wer-

den können¹⁰²⁾. Vollständig bedeutet einmal, daß alle Arten von Einnahmen und Ausgaben, die dem Investitionsprojekt zugerechnet werden müssen, schätzbar sind. Es bedeutet zum anderen, daß die Einnahmen und Ausgaben auch in ihrer zeitlichen Ausdehnung vollständig vorausgesagt werden können. Es bedeutet nicht, daß die Zahlungen auch mit Sicherheit eintreten werden. Die Zahlungen sind beendet, wenn die geplante Nutzungsdauer abgelaufen ist. Da diese aber erst als wirtschaftliche Nutzungsdauer errechnet werden muß, ist es notwendig, die Zahlungen über diesen Zeitpunkt hinaus zu fixieren. Man kann praktisch so vorgehen, daß man die Zahlungen und Restwerte für die jeweilige Nutzungsdauer von ein, zwei ... bis n Jahren ermittelt; n ist dabei so groß zu wählen, daß es auf jeden Fall größer ist als die zu ermittelnde wirtschaftliche Nutzungsdauer. Bei der Ausschaltung konkreter Nachfolger und der Annahme der identischen Wiederholung kann man die Nutzungsdauer ohne Schwierigkeiten nach

102) Zu den Ausgaben gehören auch die Steuern. Wir haben die speziellen Probleme der Steuerwirkungen auf die Investitionen in unserer Untersuchung ausgeklammert und verweisen auf die Literatur. Vgl. insbesondere Brown, Cary, E., Business-Income Taxation and Investment Incentives. In: Income, Employment and Public Policy. Essays in Honour of Alvin Hansen, New York 1948, wiederabgedruckt in: Readings in the Economics of Taxation, London 1959, S. 527-537. Böhm, Hans-Herman, Kostenwirkungen der Ertragbesteuerung in der Investitionsrechnung, In: Führungsentscheidungen und ihre Dispositionshilfen, herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Betriebswirtschaft, Berlin, o.J. (1958), S. 105-122. Schwarz, Horst, Zur Berücksichtigung erfolgsteuerlicher Gesichtspunkte bei Investitionsentscheidungen, In: BFuP, 14. Jg. (1962), S. 135-153 und S. 199-211. Schneider, Dieter, Der Einfluß von Ertragsteuern auf die Vorteilhaftigkeit von Investitionen, S. 539-570. Mertens, Peter, Ertragsteuerwirkungen auf die Investitionsfinanzierung - ihre Berücksichtigung in der Investitionsrechnung, In: ZfhF, NF, 14. Jg. (1962), S. 570-588. Schwarz, Horst, Unterschiedliche Erfolgsteuerbelastungen von Investitionsalternativen, In: Neue Betriebswirtschaft, 16. Jg. (1963), S. 1-10. Swoboda, Peter, Der Einfluß der steuerlichen Abschreibungspolitik auf betriebliche Investitionsentscheidungen, In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 414-429.

dem Internen-Zinsfuß-Kriterium bestimmen, weil hierzu, wie wir nachgewiesen haben (vgl. S. 67 ff.), kein Kalkulationszinsfuß erforderlich ist. Zur Berechnung des internen Zinsfußes wird man sich moderner Rechenanlagen bedienen müssen. Wir haben im theoretischen Teil der Arbeit gezeigt, daß der interne Zinsfuß durch Probieren ermittelt werden muß. Dieser Rechenaufwand kann ohne technische Hilfsmittel nicht bewältigt werden.

Mit der Errechnung des internen Zinsfußes ist die Rentabilitätsanalyse der Investitionen mit vollständigen Zahlungsreihen abgeschlossen. Wir sehen, daß die Analyse bei einer solchen Konstellation in der Anwendung des unveränderten Modells besteht. Auf die Bedeutung des internen Zinsfußes für die Entscheidung werden wir bei der Darstellung der letzten Stufe der Einzelanalyse eingehen.

bb) Die Analyse der Investitionen mit unvollständigen Zahlungsreihen

Wir haben bereits ausgeführt (vgl. S. 108 ff.), daß man zwischen verschiedenen Arten unvollständiger Zahlungsreihen unterscheiden kann. Gemäß unserer Einteilung beginnen wir mit den zeitlich unvollständigen Zahlungsreihen.

Wir wollen von zeitlich begrenzten oder zeitlich unvollständigen Zahlungsreihen sprechen, wenn die Zahlungsreihen abbrechen, bevor die angenommene wirtschaftliche Nutzungsdauer erreicht ist. Es sind verschiedene Formen des Abbruchs der Zahlungsreihen möglich:

1. Die Zahlungsreihen können bis zu einem bestimmten Zeitpunkt angegeben werden und brechen dann plötzlich ab.
2. Die Zahlungsreihen können für den Anfang ziemlich genau geschätzt werden, dann entsteht eine zunehmende Bandbreite, bis schließlich keine Anhaltspunkte mehr für die Höhe der Zahlungen gegeben sind.

In Abb. 3 ist ein solcher Fall wachsender Bandbreite dargestellt. Er tritt gegenüber der ersten Konstellation sicherlich wesentlich häufiger auf.

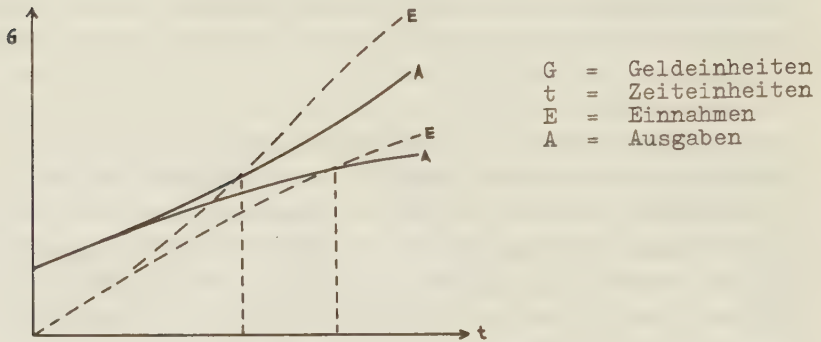


Abbildung 3

Die Vorbereitung der Investitionsentscheidung ist bei zeitlich begrenzten Zahlungsreihen nur in geringem Ausmaß möglich. Die Zahlungen lassen je nach der Länge der Zahlungsreihen und dem Verhältnis der Ausgabenreihe zur Einnahmenreihe vielleicht die Pay-off-Periode (bzw. mehrere Pay-off-Perioden im Falle wachsender Bandbreite) erkennen. Reichen die Zahlungsreihen für einige Zeit weiter in die Zukunft, kann man den internen Zinsfuß für die überschaubare Zeit errechnen. Er ist naturgemäß von geringer Aussagefähigkeit, denn er gibt lediglich die Verzinsung der Investition unter der Hypothese an, daß die Nutzungsdauer mit dem Ende der Zahlungsreihen ebenfalls beendet ist. Bei gegebener Bandbreite besteht die Möglichkeit, die Unter- und Obergrenze der Pay-off-Periode und des internen Zinsfußes der Teilperiode zu errechnen; auch hier ist die Aussagekraft begrenzt.

Der Fall zeitlich begrenzter Zahlungsreihen zeigt sehr deutlich, daß hier die Pay-off-Periode als Entscheidungskriteri-

um eine ausschlaggebende Bedeutung gewinnt. Daher erklärt sich auch die Rolle, die die Pay-off-Periode in der Praxis spielt. Das Argument, daß letzten Endes die Rentabilität einer Investition maßgebend sei, überzeugt in diesem Falle nicht, weil sich die Rentabilität bei solchen Konstellationen nicht ermitteln läßt. Die ausschließliche Verwendung der Pay-off-Periode als Maßstab für die Wirtschaftlichkeit einer Investition ist nur dann fehl am Platze, wenn sich die Rentabilität errechnen läßt, d.h. wenn die Zahlungsreihen sich bis zum Ende der Nutzungsdauer schätzen lassen.

Die in der Praxis zu beobachtende Handhabung der Wirtschaftlichkeitsrechnung verführt oft zu der Vermutung, die Rentabilität ließe sich leicht ermitteln. Die Nutzungsdauer wird hierbei als gegeben betrachtet, die Anschaffungskosten werden auf die Laufzeit verteilt und die Einnahmen und Ausgaben der Anfangsperiode werden auch für die Folgeperioden angesetzt. Die Fragwürdigkeit dieses Verfahrens liegt auf der Hand, wenn die dabei vorgenommenen Unterstellungen untersucht werden. Sie bestehen nicht nur darin, daß sich die Datenkonstellation nicht ändern darf; sie setzen auch voraus, daß die Nutzungsdauer von den Zahlungsreihen unabhängig ist. Die Rentabilität einer Investition verändert sich aber mit der Nutzungsdauer. Ihr mehr oder minder willkürlicher Ansatz bestimmt somit die Höhe der Rentabilität und begründet die Entscheidung. Ebenso gut könnte man von vornherein die Rentabilität der Investition abschätzen.

Wir kommen zu folgendem Ergebnis: bei zeitlich begrenzten Zahlungsreihen wird die Kennzahl Rentabilität, d.h. der interne Zinsfuß, nur selten mit genügender Genauigkeit zu bestimmen sein. Es verbleiben als wesentliche Entscheidungskriterien die Pay-off-Periode und die Einnahmen und Ausgaben der ersten Perioden.

Außer der zeitlichen Begrenzung der Zahlungsreihen kommt eine sachliche Begrenzung oder Unvollständigkeit der Zah-

lungsreihen vor. Sie kann darin bestehen, daß man bestimmte Einnahmen- und Ausgabenarten zwar kennt, über deren Höhe man aber keine Anhaltspunkte hat, während die anderen Zahlungsarten verhältnismäßig präzise geschätzt werden können.

Man wird auch dann von sachlich begrenzten Zahlungsreihen sprechen, wenn man erwartet, daß neben den erfaßten Zahlungsarten weitere Zahlungsarten auftreten werden, die man noch nicht kennt. Man wird dann allerdings versuchen, zumindest die Zahlungsarten zu bestimmen, die noch hinzutreten werden.

Die Aussagefähigkeit der Rechnung hängt vom Umfang der sachlichen Begrenzung ab; ist beispielsweise damit zu rechnen, daß sich die Einnahmen und Ausgaben nur um wenige Prozent gegenüber den schätzbaren Zahlungsarten verschieben, so wird die Aussagefähigkeit der Rechnung nicht wesentlich beeinträchtigt.

Die Beschränkung der Rechnung auf die Ausgaben kann aus zwei Gründen vorkommen:

1. Eine Einnahmезurechnung ist nicht möglich.
2. Eine Einnahmезurechnung wird für nicht erforderlich gehalten, weil die Einnahmen der konkurrierenden Alternativen gleich sind.

Im zweiten Fall ist die Beschränkung nicht berechtigt, wenn es darum geht, die Rentabilität einer Investition zu errechnen und das Ergebnis des Kalküls als Kriterium bei der Aufstellung von Programmen zu verwenden. Lediglich dann, wenn es sich um den Vergleich von mehreren Alternativen mit gleichen Einnahmen handelt, können die Einnahmen unbeachtet bleiben. Ein Beispiel hierzu ist der Rentabilitätsvergleich zwischen Kauf und Miete (Leasing), weil es hier meistens um die Frage geht, ob die gleiche Anlage gemietet oder gekauft werden soll. Man nimmt dann an, daß die Maschine in beiden Fällen dieselbe Aufgabe erfüllt und somit die

gleichen Einnahmen erwirtschaftet¹⁰³⁾. Theoretisch ist eine solche Annahme nur dann einwandfrei, wenn die Ausgaben (Kosten) keinen Einfluß auf die Ausstoßmenge und damit auf die Einnahmen haben. Bei linearem Kostenverlauf oder bei der Bestimmung der Absatzmenge durch einen Engpaß ist diese Voraussetzung erfüllt. Bei nichtlinearem Kostenverlauf und Fehlen eines Engpasses bestimmen die Ausgaben der Alternativen die Höhe des Ausstoßes und damit die Einnahmen. Es ist daher möglich, daß beim Vergleich von Kauf und Miete sich bei unterschiedlichen Ausgaben auch ein unterschiedlicher Ausstoß ergibt. Insofern ist die Vernachlässigung der Einnahmenseite falsch.

Im Einzelfall muß demnach zunächst festgestellt werden, ob bei unterschiedlichen Ausgaben die Einnahmen der Alternativen differieren werden. Man kann im Beispiel des Mietekauf-Vergleichs nicht von vornherein sagen, die Rechnung könne sich auf die Ausgaben beschränken. Ganz sicher ist aber, daß eine nur auf Ausgaben aufbauende Rechnung nicht die Frage beantworten kann, ob sich Miete oder Kauf überhaupt rentieren oder ob es nicht besser ist, beides zu unterlassen. Eine Antwort hierauf ist nur möglich, wenn auch die Einnahmen Berücksichtigung finden.

Der wichtigste Teil der betrieblichen Investitionen, die nur anhand ihrer Ausgaben beurteilt werden müssen ("Ausgaben-Investitionen"), ist jener Teil, dem keine Einnahmen zugerechnet werden können, weil keine Beziehung zwischen der Investition und den Einnahmen des Betriebes erkennbar ist. Wir wollen versuchen, diese Investitionen näher zu umreißen.

103) Vgl. z.B. die Vergleichsrechnung zwischen Kauf und Leasing bei Leffson, Ulrich, Leasing beweglicher Anlagegüter. In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 396-413, hier S. 403. Leffson weist darauf hin, daß ein Weglassen der Einnahmen allerdings die Rechnung unübersichtlich macht, weil dann Annahmen über den Ertrag der freigesetzten Mittel gemacht werden müssen. Vgl. S. 404, Fußnote 7.

Zunächst gehören diejenigen Investitionen dazu, welche für ganze Betriebsteile oder gar für einen ganzen Betrieb durchgeführt werden. Als Beispiele sind Investitionen im Verwaltungsbereich, gemeinsame Investitionen für mehrere Fertigungsabteilungen, Investitionen für Neben- und Hilfsbetriebe und Investitionen für die soziale Betreuung der Arbeitnehmer zu nennen. In all diesen Fällen besteht ganz sicher ein Einfluß der Investitionen auf die Einnahmen der Unternehmung. Sie lassen sich aber nicht in sinnvoller Weise den jeweiligen Vorhaben zuordnen. Bei manchen dieser Vorhaben kann man allerdings die Einnahmen mittelbar berücksichtigen. Das hängt vom Zusammenhang ab, in welchem derartige Investitionen vorkommen. Werden beispielsweise in einer Ausbauphase eines Betriebes Werkshallen errichtet, in denen ein Produktionszweig unterzubringen ist, so können die Baukosten mit der Anschaffung der maschinellen Einrichtung zusammengefaßt werden und die Gesamtausgaben den zu erwartenden Gesamteinnahmen gegenübergestellt werden. Die Alternativen können in einer jeweils anderen Kombination von Hallenbau und maschineller Einrichtung bestehen¹⁰⁴⁾. Auf jeden Fall gelingt es durch die Zusammenfassung, die Werkshallen mittelbar mit den Einnahmen in Beziehung zu bringen.

Bei einer ganzen Reihe von Vorhaben besteht dagegen kein erfaßbarer Zusammenhang zwischen der Durchführung des Vorhabens und den Einnahmen der Unternehmung. Soll z.B. für den innerbetrieblichen Telefonverkehr eine Fernsprechanlage eingebaut werden, so lassen sich dieser Investition keine Einnahmen zurechnen. In einigen derartigen Fällen ergeben sich jedoch Ausgabeminderungen gegenüber den Alternativen. Diese Ersparnisse können methodisch wie Einnahmen behandelt werden. Wir wollen hierzu ein Beispiel untersuchen:

104) Vgl. hierzu auch die Vorschläge Dieter Schneiders zur Zusammenfassung einzelner Anlagen zu Produktionsstufeneinheiten. Schneider, Dieter, Die wirtschaftliche Nutzungsdauer von Anlagegütern, S. 64.

Angenommen, durch Anschaffung eines Buchungsautomaten erübrige sich die Einstellung einer zusätzlichen Arbeitskraft. Der Buchungsanfall muß bewältigt werden. Die Unterlassung beider Maßnahmen steht damit außerhalb der Diskussion. Eine der beiden Alternativen ist zu verwirklichen. Man kann das eingesparte Geld der Arbeitskraft als Einnahmen des Buchungsautomaten behandeln. Damit stehen die Einnahmen und Ausgaben des Automaten und sein interner Zinsfuß fest. Man muß sich bei diesem Verfahren jedoch darüber klar sein, daß der resultierende interne Zinsfuß nur im Hinblick auf eine ganz bestimmte Alternative gültig ist. Eine absolute, d.h. auf die Unterlassung der Buchungen bezogene Rentabilität steht in diesem Beispiel nicht zur Diskussion. Die relative, an dem Fall der nichtautomatischen Buchung gemessene Rentabilität besagt, daß die Anschaffung eines Buchungsautomaten günstiger (ungünstiger) ist, als die Einstellung einer zusätzlichen Arbeitskraft. Das gleiche Ziel erreicht man aber auch, wenn man die beiden Ausgabenreihen der Alternativen vergleicht.

Die Entscheidung über Investitionen, von denen nur die Ausgaben bekannt sind, kann man lediglich dadurch vorbereiten, daß man den Zahlungsverlauf in einem Zahlungsbild festhält und die Eigenschaften des Projekts systematisch beschreibt. Bei konkurrierenden Alternativen empfiehlt es sich, die Vorhaben im Zahlungsbild einander gegenüberzustellen. Unser Beispiel des Buchungsautomaten (AI) oder der handschriftlichen Buchung (AII) ergäbe folgende typische Ausgabenverläufe:

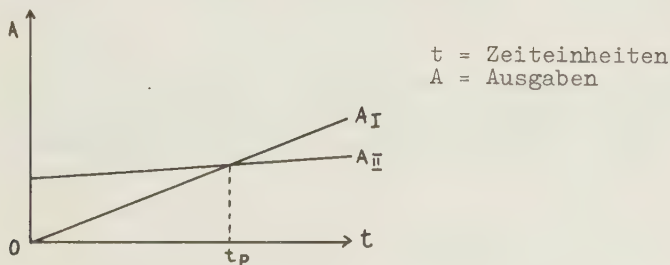


Abbildung 4

Wenn die geschätzte wirtschaftliche Nutzungsdauer des Automaten länger als t_p ist, dann ist die Alternative A_I vorzuziehen. Das Zahlungsbild zeigt ferner, in welcher Weise sich der Kapitalbedarf der Alternativen über die Zeit verteilt.

Die Bestimmung der Nutzungsdauer einer Alternative anhand der Ausgaben ist nur möglich, wenn die laufenden Ausgaben im Zeitablauf ständig steigen, wenn also ein Optimierungsproblem vorliegt. Man kann dann nämlich, wie es Terborgh bei seinem ersten Ersatzmodell getan hat¹⁰⁵⁾, den Zeitraum angeben, für den die durchschnittlichen Periodenkosten minimiert werden. Das Ende der Nutzungsdauer ist erreicht, wenn die Summe der auf die Periode entfallenden Anschaffungskosten und der auf die Periode entfallenden laufenden Kosten minimiert ist. Aufgrund der so bestimmten Nutzungsdauer ergeben sich dann die minimalen Durchschnittskosten der einzelnen Alternativen. Sie dienen als Maßstab zur Auswahl der besten unter den konkurrierenden Vorhaben.

Unsere Ausführungen lassen erkennen, daß die Entscheidungsvorbereitung bei Investitionen, denen nur die Ausgaben zugerechnet werden können, lediglich Aussagen darüber vermitteln kann, welche von mehreren konkurrierenden Alternativen kostengünstiger arbeitet. Mittels der Ausgaben lassen sich aber keine Maßstäbe zur Aufstellung eines Programms - und sei es nur ein Programm, welches aus allen jenen Vorhaben besteht, denen jeweils nur die Ausgaben zugerechnet werden können - entwickeln.

cc) Besonderheiten der Analyse bei Ersatzinvestitionen

Wir sind in unseren bisherigen Ausführungen noch nicht auf die Frage eingegangen, ob alle Investitionsvorhaben nach dem vorgeschlagenen Konzept analysiert werden können. Für Neuinvestitionen ist die geschilderte Form der Rechnung,

105) Vgl. Terborgh, George, Dynamic Equipment Policy, insbesondere S. 82.

insbesondere die Ermittlung des internen Zinsfußes der Investition, ohne weiteres möglich, wenn die Daten vollständig sind. Es fragt sich, ob bei Ersatzvorhaben in gleicher Weise vorgegangen werden kann.

In der Literatur wurde die Rechnung für den Ersatzfall bisher anders behandelt. Man hat entweder die Periodenkosten des alten Aggregats mit den Periodenkosten des neuen Aggregats verglichen¹⁰⁶⁾ oder man hat die Wirtschaftlichkeit des sofortigen Ersatzes am Aufschub des Ersatzes um eine Periode gemessen¹⁰⁷⁾.

Diese Art des Vorgehens bedeutet, daß eine bestimmte von vielen möglichen Alternativen als Maßstab herausgegriffen wird. Das Ergebnis der Rechnung zeigt dann, ob die zu prüfende Alternative besser ist als die Vergleichsalternative. Die schlechtere von beiden scheidet aus. Es findet also bereits eine Auswahl unter den Alternativen statt, wobei als Auswahlkriterium lediglich eine relative Rentabilitätskennzahl dient.

106) So z.B. Rummel, Kurt, Wirtschaftlichkeitsrechnung, Bericht Nr. 109 des Ausschusses für Betriebswirtschaft des Vereins deutscher Eisenhüttenleute, In: Archiv für das Eisenhüttenwesen, 10. Jg. (1936), S. 73-84, insbesondere das Beispiel auf S. 74-75. Schindler hat die dem Beispiel zugrunde liegenden Annahmen, insbesondere die der konstanten Kosten, herausgearbeitet. Vgl. hierzu Schindler, Heinz, Investitionsrechnung in Theorie und Praxis, S. 104.

107) Vgl. hierzu Terborgh, George, Leitfaden, insbesondere S. 99. Vgl. hierzu auch Albach, Horst, Investitionspolitik in Theorie und Praxis, In: ZfB, 28. Jg. (1958), S. 766-783 und Albach, Horst, Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit betrieblicher Investitionen, In: ZfB, 29. Jg. (1959), S. 419-431. Albach hat die Annahmen des Verfahrens herausgearbeitet und die Möglichkeiten und Grenzen umrissen.

Unser Konzept soll eine derartige Auswahl durch das angewandte Rechenverfahren verhindern, weil bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen nicht nur die relative Rentabilität entscheidet, sondern auch die absolute Rentabilität und andere Eigenschaften, wie etwa der Kapitalbedarf, maßgebend sind¹⁰⁸⁾. Es soll vielmehr jede Alternative mit ihrem internen Zinsfuß und ihren sonstigen Kennzahlen für die Entscheidung zur Auswahl stehen. Wir können das in der Weise erreichen, daß wir bei Ersatzinvestitionen genauso vorgehen wie bei Neuinvestitionen: Statt eine bestimmte Alternativinvestition als Maßstab herauszugreifen, wird für alle Alternativen der interne Zinsfuß berechnet.

Der interne Zinsfuß der bereits im Betrieb befindlichen Anlage wird wie folgt berechnet: Der Restverkaufserlös der Anlage im Kalkulationszeitpunkt stellt den Kapitaleinsatz der Weiterverwendung dar¹⁰⁹⁾. Die noch zu erwartenden Einnahmen und

108) Vgl. auch den Hinweis Albachs, der die Schwächen der Terborgh'schen Methode im Zusammenhang mit der Aufstellung von Investitionsprogrammen anmerkt. Albach, Horst, Investitionspolitik in Theorie und Praxis, S. 782. Zur Kritik am MAPI-System vgl. ferner: Dean, Joel and Smith, Winfield, Has MAPI a Place in a Comprehensive System of Capital Controls? In: Solomon, Ezra (Hrsg.), The Management of Corporate Capital, Chicago 1961, S. 293-306 und die Stellungnahme von Terborgh, George, Some Comments on the Dean-Smith Article on the MAPI Formula, S. 307-309. Mit dem älteren MAPI-System setzen sich neben Schindler und Dieter Schneider auch L.H. Klaasen, L.M. Koyck, J.L. Meij und J.L. Bouma auseinander. Vgl. hierzu Meij, J.L. (Hrsg.), The Theory of Depreciation and Entrepreneurial Behavior, In: Depreciation and Replacement Policy, Amsterdam 1961, S. 186-230, hier S. 194-200.

109) Betrachtet man den Restverkaufserlös der im Betrieb befindlichen Anlage nicht als Kapitaleinsatz, so läßt sich kein Kriterium für den Ersatz finden. Der interne Zinsfuß wird ohne Berücksichtigung des Restverkaufserlöses unendlich. Vgl. hierzu Jacob, H[erbert], S. 493.

Ausgaben bilden den Zahlungsstrom dieser "kalkulatorischen" Investition. Die Restnutzungsdauer wird dadurch bestimmt, daß zunächst der interne Zinsfuß des potentiellen Nachfolgers errechnet wird. Danach ist zu prüfen, wann der marginale interne Zinsfuß der alten Anlage den internen Zinsfuß des Nachfolgers erreicht hat. Liegt er bei einer Verlängerung der Nutzungsdauer der alten Anlage unter dem des Nachfolgers, ist die Anlage nach Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten sofort zu ersetzen. Dennoch kann man beide Alternativen ("sofortiger Ersatz" und Weiterverwendung um ein oder mehrere Jahre) als sich gegenseitig ausschließende Alternativen mit ihren internen Zinsfüßen als Ausgangsdaten zur Programmaufstellung heranziehen. Liegt der marginale interne Zinsfuß der alten Anlage über dem internen Zinsfuß des Nachfolgers, so ist der Ersatz verfrüht. Die neue Anlage braucht noch nicht bei der Programmaufstellung berücksichtigt zu werden.

Die Einnahmen- und Ausgabenreihen von Ersatzalternativen liegen vollständig vor, wenn es gelingt, den Restverkaufserlös der alten Anlage, die noch zu erwartenden Zahlungsströme der alten Anlage sowie die Zahlungsströme und den Restwertverlauf der neuen Anlage anzugeben. Es liegt auf der Hand, daß die Schätzung dieser Zahlungsströme schwierig sein wird, besonders dann, wenn es sich um Maschinen handelt, die nicht marktfähige Zwischenprodukte herstellen. In diesem Falle bestehen die Einnahmen der Alternative "Weiterverwendung" in der Vermeidung der Ausgaben für den Zukauf der Zwischenprodukte, der bei Verkauf der Anlage nötig wäre.

Wir haben damit das Ersatzproblem auf den allgemeinen Fall der Beurteilung einer Investition zurückgeführt.

Können bei einem Ersatzproblem nur die Zahlungsveränderungen, die durch den Ersatz entstehen würden, errechnet werden, so handelt es sich scheinbar um ein Vorhaben mit unvollständigen Zahlungsreihen. Dieser Fall wird uns im fol-

genden noch beschäftigen. Wir verwenden als Beispiel einer Rechnung mit Zahlungsänderungen das MAPI-System¹¹⁰⁾.

Zunächst ist in einem solchen Falle die Alternative zum sofortigen Ersatz zu definieren, damit überhaupt feststeht, auf was sich die Änderung bezieht. Ist auf jeden Fall eine Fortführung der Unternehmung geplant und kommt somit der Verkauf der alten Maschine und die Anlage des Erlöses ausserhalb der Unternehmung nicht in Frage, so kann als Alternative zum sofortigen Ersatz zunächst der Ersatz in einem Jahr festgelegt werden. Die Zahlungsveränderungen, die der sofortige Ersatz bewirkt, sind dann alle Einnahmen- und Ausgabenänderungen. Es handelt sich um folgende Einnahmen und Ausgabenarten¹¹¹⁾:

- (1) Einnahmenveränderungen des nächsten Jahres durch Qualitäts- und/oder Ausstoß erhöhungen, die der sofortige Ersatz bewirkt
- (2) Betriebskostenveränderungen des nächsten Jahres
- (3) Kapitalkostenveränderungen des nächsten Jahres.

Zu (1):

Diese Veränderungen treten nur auf, wenn die Produktionsleistung der Anlage erhöht oder gesenkt wird. Zur Bestimmung der Veränderung ist die Feststellung der Produktionsleistung der alten Anlage erforderlich.

Zu (2):

Die Betriebskostenänderungen des nächsten Jahres können alle Fertigungskostenarten betreffen. Zur Feststellung der

110) Vgl. Terborgh, George, Leitfaden.

111) Terborgh führt im vollständigen MAPI-Formular die einzelnen Zahlungspositionen genau auf. Vgl. Terborgh, George, Leitfaden, S. 152. Wir begnügen uns hier mit einer Zusammenfassung.

Änderungen ist u.E. ebenfalls die Feststellung der bisherigen Betriebskosten erforderlich. Ergibt sich beispielsweise für die neue Anlage ein geringerer Energieverbrauch, so läßt dieser sich nur ermitteln, wenn man den Energieverbrauch der alten Anlage kennt. Die Aussage, A verbrauche für 10 Geldeinheiten mehr Energie als B, kann nur dadurch zustande kommen, daß man den Energieverbrauch von A und B kennt.

Zu (3):

Die Kapitalkostenänderung des nächsten Jahres setzt sich aus zwei Komponenten zusammen¹¹²⁾. Zunächst bewirkt der sofortige Ersatz gegenüber dem Ersatz in einem Jahr, daß der mögliche Verkaufserlösabfall der alten Anlage vermieden wird. Zu seiner Ermittlung muß der derzeitige Verkaufserlös und der Verkaufserlös in einem Jahr geschätzt werden. Andererseits bewirkt aber der sofortige Kauf der neuen Anlage für das kommende Jahr einen Wertabfall des neuen Aggregats, der durch die einjährige Benutzung hervorgerufen wird. Dieser Verzehr ließe sich aber leicht angeben, wenn der Veräußerungserlös der neuen Maschine nach einem Jahr bekannt wäre. Da das jedoch nicht der Fall ist, muß ein kalkulatorischer Hilfwert für den Wertabfall verwendet werden. Theoretisch exakt läßt sich der Wertabfall überhaupt nicht bestimmen. Es läßt sich lediglich die Minderung des Kapitalwerts berechnen, vorausgesetzt, daß sämtliche zukünftigen Einnahmen und Ausgaben der neuen Anlage bekannt sind. Terborgh sucht das Problem dadurch zu lösen, daß er die Annahme macht, der Kapitalwert eines Vorhabens sei gleich den Anschaffungskosten¹¹³⁾. Das bedeutet nichts anderes, als daß der Kalkulationszinsfuß gleich dem internen Zinsfuß der Anlage sein muß. Letzterer wäre also zu bestimmen, damit der Kapitalver-

112) Das MAPI-System führt noch den Anteil des nächsten Jahres an Großreparaturen auf, den wir hier vernachlässigen können. Vgl. Terborgh, George, Leitfaden, S. 152.

113) Vgl. Terborgh, George, Leitfaden, S. 107.

zehr angegeben werden kann. Damit liefere aber die Rechnung wiederum auf die Ermittlung sämtlicher Einnahmen und Ausgaben hinaus. Terborgh umgeht diese Schwierigkeit dadurch, daß er einen internen Zinsfuß für die neuen Anlagen in Nomogrammen vorgibt! Bei einer bestimmten Nutzungsdauer - die man schätzen muß - und festliegenden Anschaffungskosten der Anlage ist damit der Kapitalverzehr determiniert. Wir können nicht näher auf die Schwächen der Terborgh'schen Methode zur Ermittlung des Kapitalverzehrs eingehen¹¹⁴⁾. Es zeigt sich aber, daß die fehlenden Zahlungen durch angenommene Ausgaben- und Einnahmeverläufe ersetzt werden müssen, um eine Lösung zu erhalten. Der Maßstab zur Beurteilung der Investition wird bei Terborgh aus den Größen (1) bis (3) ermittelt. In der Regel ergeben (1) und (2) wegen erhöhtem und/oder verbessertem Ausstoß und Kosteneinsparungen bei Einführung der neuen Anlage einen Vorteil, während die Kapitalkostenänderung (Größe (3)) sich negativ auswirkt. Saldiert man die drei Größen und setzt sie zu dem erforderlichen Kapital der Neuanschaffung in Beziehung¹¹⁵⁾, so erhält man den "Dringlichkeitsmaßstab". Er gibt an, welche Verzinsung der eingesetzte Kapitalbetrag im ersten Jahr des Ersatzes bringt.

Man sieht aus unserer vereinfachten Beschreibung des Terborgh'schen Modells, daß zwar mit einer sachlichen Begrenzung der Einnahmen- und Ausgabenströme der Investition gerechnet wird (es wird nur mit Zahlungsveränderungen gearbeitet), daß diese aber eigentlich die Kenntnis aller Einnahmen und Ausgaben des Ersatzobjektes und des zu ersetzenden Objektes sowie des Verkaufserlöses der alten Anlage und dessen Erlösabfall im nächsten Jahr voraussetzt. Die zeitliche Begrenzung der Zahlungen auf ein Jahr wird

114) Eine ausführlichere Kritik der Terborgh'schen Rechnung findet sich bei Albach, Horst, Investitionspolitik in Theorie und Praxis, bes. S. 778 und 779.

115) Im Normalfall lautet die Formel: $\frac{(1) + (2) - (3)}{\text{Kapitaleinsatz}}$.

durch angenommene Zahlungen während der restlichen Lebensdauer der neuen Anlage aufgehoben. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer muß vom Investor geschätzt werden. Der resultierende Beurteilungsmaßstab ist wegen der Annahmen des Modells und der vorausgehenden Rechenoperationen undurchschaubar. Er kann nicht ohne weiteres mit den internen Zinsfüßen von Neuinvestitionen verglichen werden und zur Zusammenstellung von Investitionsprogrammen verwandt werden.

Es zeigt sich somit, daß es durchaus möglich ist, ein vollständiges Ersatzmodell zu bilden und den internen Zinsfuß zu berechnen, wenn die Daten, die das Terborgh'sche Modell verlangt, vorhanden sind. Es handelt sich dann eigentlich um eine Investition mit vollständigen, wenn auch z.T. ohne Anhaltspunkte geschätzten Zahlungsreihen. Verwendet man zur Lösung solcher Fälle die Interne-Zinsfuß-Methode, so hat das den Vorteil, daß die Annahmen über die Zukunft erkennbar sind. Die Vorteile des Terborgh'schen Modells, die in der Einbeziehung des technischen Fortschritts durch die Annahme zukünftiger Gewinnminderungen bestehen, lassen sich auch in das Interne-Zinsfuß-Modell einbauen.

Die in der Praxis häufig verwandten Rechnungen¹¹⁶⁾ sind im Prinzip ähnlich wie das Terborgh'sche System aufgebaut: Es werden die Ersparnisse der neuen Anlage an den Kosten- und Erlösveränderungen einer Periode (einschließlich der Abschreibungen) ermittelt und zur Anschaffungssumme in Beziehung gesetzt. Das verlangt eine Schätzung der Nutzungsdauer. Die Abschreibungen entsprechen dem Kapitalverzehr bei Terborgh. Er wird bei linearer Abschreibung als konstant angenommen. Der Rechnung liegt darüber hinaus die Annahme konstanter Betriebskosten zugrunde.

Diese Rechnung setzt im Grunde genommen ebenfalls die Kenntnis aller Einnahmen und Ausgaben voraus. Bei der Ermittlung

116) Die typische Rechnung der Praxis beschreibt z.B. Brandt, Horst, Investitionspolitik des Industriebetriebs, S. 36.

der Rentabilität werden allerdings die Einnahmen und Ausgaben der alten Anlage von denen der neuen abgezogen. Statt einer Ermittlung der Einnahmen und Ausgaben späterer Perioden wird einfach angenommen, die Zahlungen der ersten Periode fließen auch in den Folgeperioden. Es handelt sich mit anderen Worten auch hier um Rechnungen, denen vollständige Zahlungsreihen zugrunde liegen. Man erkennt nur nicht sofort, welche Zahlungen man in Wirklichkeit eingesetzt hat. Die gleichen einfachen Rechnungen ließen sich mit dem vollständigen Internen-Zinsfuß-Modell erzielen. Nur würde dann deutlich werden, welche Vereinfachungen man bedenkenlos akzeptiert.

Damit haben wir nachgewiesen, daß die Rechnungen, die auf Veränderungen aufbauen und die insbesondere bei Ersatzproblemen Anwendung finden, keine Investitionsrechnungen mit unvollständigen Zahlungsreihen sind. Vielmehr werden die Zahlungen implizite als bekannt vorausgesetzt. Uns scheint es ungefährlicher zu sein, wenn die unbekannten Zahlungen entweder geschätzt oder, falls sich keine Anhaltspunkte ergeben, weggelassen werden. Im letzteren Fall ist die Investition als Alternative mit unvollständigen Zahlungsreihen zu behandeln. Die beschriebenen Ersatzmodelle verschleiern die Schwierigkeiten. Es besteht auch kein Anlaß, aus methodischen Gründen nur mit Zahlungsänderungen zu rechnen. Die Beschränkung auf Änderungen ließe sich nur damit begründen, daß bei zwei Alternativen nur die Einnahmen- und Ausgabenunterschiede ermittelt werden können. Wie wir gesehen haben, lassen sich immer dann, wenn die Unterschiede feststellbar sind, auch die Ausgaben und Einnahmen jeder Alternative für sich ermitteln.

Das Ersatzproblem läßt sich somit einwandfrei in unser System der Investitionsrechnung einbauen. Eine sachliche Begrenzung von Einnahmen und Ausgaben liegt vor, wenn die Zahlungen der einzelnen Ersatzalternativen nicht vollständig geschätzt werden können. Die Ersatzalternativen müssen in solchen Fällen nach den in diesem Kapitel beschriebenen Grundsätzen beurteilt werden.

Mit der Beschreibung der Besonderheiten bei der Rentabilitätsanalyse von Ersatzinvestitionen ist die Darstellung der ersten Stufe der Einzelanalyse abgeschlossen. Aus unserer Darstellung geht hervor, inwieweit die Modellanalyse bei der praktischen Einzelanalyse zur Anwendung kommt: Uneingeschränkt wird sie nur bei der Analyse von Investitionen mit vollständigen Zahlungsreihen angewandt. Bei der Analyse von Investitionen mit unvollständigen Zahlungsreihen kommt die Modellanalyse nur in abgewandelter Form zum Zuge; die auf diese Weise gewonnenen Kriterien sind, wie wir gezeigt haben, nur von beschränkter Aussagefähigkeit.

Wir hatten zu Anfang unserer Beschreibung der praktischen Einzelanalyse festgestellt, daß die Modellanalyse nur mit einem einzigen Entscheidungskriterium, nämlich dem internen Zinsfuß, auskommt; bei der praktischen Einzelanalyse wird man dagegen versuchen, außer der Rentabilität zusätzliche Kriterien zur Beurteilung der Investitionen zu gewinnen. In den folgenden Abschnitten haben wir als erstes die Frage zu klären, welche Beurteilungskriterien man zusätzlich heranziehen wird und zweitens, wie diese Beurteilungskriterien die Entscheidung beeinflussen werden. Da solche Kriterien in den von uns beschriebenen Modellen nicht vorgesehen sind, handelt es sich bei der folgenden Stufe der Einzelanalyse nicht mehr um die Modellanwendung.

b) Die Ermittlung zusätzlicher Beurteilungskriterien

Bei der Frage, welche zusätzlichen Beurteilungskriterien zur Investitionsentscheidung heranzuziehen sind, kann man erstens von der Überlegung ausgehen, unter welcher Zielsetzung und zweitens unter welchen Bedingungen sich die Investitionstätigkeit vollzieht.

In unseren bisherigen Ausführungen ging es ausschließlich darum, die Investitionen an der Zielsetzung auszurichten. Wir hatten sie nur auf ihre Rentabilität hin untersucht. Ob mit Hilfe der Kennzahl Rentabilität die Zielsetzung der

Gewinnmaximierung erreicht werden kann, haben wir noch zu klären. Zunächst fragen wir aber nach den zusätzlichen Beurteilungskriterien, die außer der Rentabilität die Entscheidung über die Durchführung einer Investition beeinflussen werden.

Bei der Entscheidung über die Investitionen wird es nicht gleichgültig sein, inwieweit diese die Bedingungen erfüllen, unter denen sich die Unternehmenstätigkeit vollziehen soll. Die Bedingungen sind der Unternehmung zum Teil vorgegeben, zum Teil werden sie aber auch von der Unternehmensleitung bestimmt. Zu den vorgegebenen Bedingungen gehört die Aufrechterhaltung der Zahlungsfähigkeit des Unternehmens. Zu den von der Unternehmung selbst zu gestaltenden Bedingungen gehört die Absicherung des Unternehmens gegen Verlustgefahren, die in der Einschränkung des zu übernehmenden Risikos auf ein vertretbares Maß zum Ausdruck kommt. Neben diesen beiden Komponenten werden weitere Kriterien zur Beurteilung von Investitionen herangezogen werden. Zu ihnen gehören die Auswirkungen der Investitionen auf den Absatzmarkt, die im anfänglichen Umsatz und Marktanteil zum Ausdruck kommen. Die Kriterien Umsatz und Marktanteil werden besonders dann in die Überlegungen einbezogen werden, wenn die Zahlungsreihen einer Investition unvollständig sind und sich deshalb die Überschüsse der Investition nicht feststellen lassen. Man nimmt in solchen Fällen meistens an, daß die Erhöhung des Umsatzes und des Marktanteils auch zur Erhöhung der Gewinne führen wird.

Wir wollen im folgenden die Ermittlung der zusätzlichen Beurteilungskriterien beschreiben. Die Aufrechterhaltung der Zahlungsfähigkeit läßt sich durch die Analyse der finanziellen Auswirkung einer Investition und deren Abstimmung mit der Finanzplanung überprüfen. Die Einhaltung eines vertretbaren Ausmaßes der Risiken kann aus der Risikoanalyse abgeleitet werden; wir wollen in diesem Zusammenhang von der Risikowirkung der Investition sprechen. Die Kriterien Umsatz und Marktanteil lassen sich aus den anfänglichen Einnahmen

der Investitionen und aus den Absatzdaten ermitteln; wir wollen die beiden Kriterien unter dem Begriff Marktauswirkungen behandeln.

aa) Die finanziellen Auswirkungen einer Investition

Zur Ermittlung der finanziellen Auswirkung einer Investition ist zunächst ihr Kapitalbedarf festzustellen. Zu diesem Zwecke müssen die Einnahmen- und die Ausgabenreihe der Investition einander gegenübergestellt werden. Die einfachste Form der Gegenüberstellung ist das bereits dargestellte Zahlungsbild einer Investition (vgl. S. 97.). Der Kapitalbedarf ist am Anfang gleich den Anschaffungsausgaben der Investition und nimmt später ständig ab. Nach Ablauf der Pay-off-Periode wird aus dem Bedarf ein Überschuß. Bis zum Ablauf der Pay-off-Periode müssen daher Geldmittel zur Verfügung stehen. Zur Überprüfung, inwieweit das der Fall ist, muß eine Gegenüberstellung des Kapitalbedarfs mit dem langfristigen Finanzplan des Unternehmens erfolgen¹¹⁷⁾. Die Aufstellung des langfristigen Finanzplans gehört in den Bereich der Datenbeschaffung und muß vorausgesetzt werden. Es sei nur darauf hingewiesen, daß er unter Berücksichtigung der geplanten Ausschüttungspolitik zu erstellen ist. Er ist infolgedessen in gewissem Umfang revidierbar. In der Praxis ändert man jedoch meistens nicht die Ausschüttungspolitik ab, um etwa mit den frei werdenden Mitteln lukrative Investitionen durchzuführen und dafür später höhere Ausschüttungen vorzunehmen. Wir wollen daher den langfristigen Finanzplan als Datum behandeln.

117) Vgl. hierzu auch von Kortzfleisch, Gert, Die Grundlagen der Finanzplanung, Berlin 1957, S. 113. Von Kortzfleisch drückt den Sachverhalt so aus: "Ein für die Investitionen aufgestellter Finanzplan sollte in den allgemeinen Finanzplan eingefügt werden". Der Finanzplan für Investitionen wäre in unserem Falle der Kapitalbedarf der Investition.

Angenommen, der langfristige Finanzplan des Unternehmens ergebe den in Abb. 5 aufgezeichneten Überschußverlauf (Kurve a). Die geplanten Investitionen sind in ihm noch nicht enthalten.

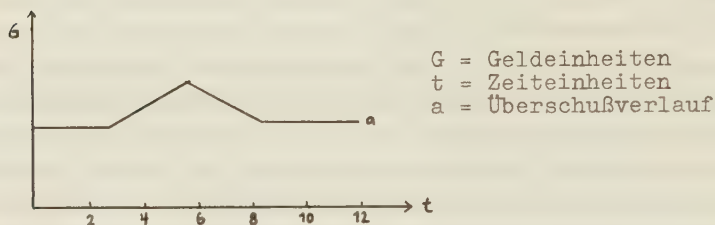


Abbildung 5

Der Überschußverlauf hat Schätzcharakter, soweit er nicht bereits vorhandene Geldbestände enthält. Mit ihm ist nun der Kapitalbedarf der Investition in Einklang zu bringen¹¹⁸⁾. Wir können ihn aus Abb. 2¹¹⁹⁾ ableiten und dem langfristigen Finanzplan gegenüberstellen (Abb. 6).

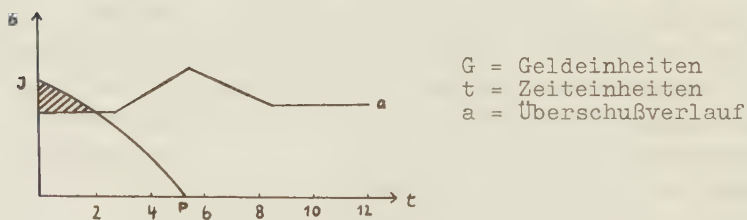


Abbildung 6

118) Im allgemeinen wird allerdings die Gegenüberstellung nicht für einzelne Investitionen erfolgen, sondern das ganze Investitionsprogramm umfassen. Das ändert jedoch nichts an der Art des Vorgehens.

119) Vgl. S. 97.

Die Gegenüberstellung zeigt in unserem Falle, daß die Investition nicht vollständig aus den zukünftigen Überschüssen des Unternehmens finanziert werden kann. Es verbleibt ein restlicher Kapitalbedarf (schraffiertes Dreieck). Die Investition muß bis zum Zeitpunkt 4 verschoben werden oder es müssen zusätzliche Mittel aufgenommen werden. Die Verschiebung wird in solchen Fällen vorgezogen werden, in denen der Kreditzinssatz über dem Anlagezinssatz liegt, zu dem die Überschüsse aus der Investition angelegt werden könnten. Bei der sofortigen Durchführung der Investition würden die Überschüsse aus der Investition vier Jahre früher erzielt, als es bei der Verschiebung der Fall ist. Sie könnten daher auch vier Jahre früher angelegt werden. Dafür wären aber Kreditzinsen zu zahlen. Der Vergleich des Anlage- mit dem Kreditzinssatz bestimmt die Entscheidung. Voraussetzung ist allerdings, daß Risikoüberlegungen und Präferenzvorstellungen über die Kapitalstruktur ohne Einfluß sind. Treten diese hinzu, wird die Entscheidung in der Regel nicht mehr von den Zinssätzen bestimmt, wenn diese nicht sehr weit auseinander liegen.

Unsere Darstellung läßt erkennen, daß es für die Zwecke der Investitionsplanung genügt, den langfristigen Finanzplan nur für wenige Perioden aufzustellen. Er braucht sich jedenfalls nicht über die gesamte Nutzungsdauer der geplanten Investition zu erstrecken, weil beim Normaltyp der Investitionen die Pay-off-Periode erheblich kürzer ist als die Nutzungsdauer. Im einzelnen hängt das Verhältnis von Pay-off-Periode zu Nutzungsdauer von dem Verhältnis der Anschaffungsausgaben zu den laufenden Ausgaben ab. Wenn man Einnahmen und Nutzungsdauer als konstant voraussetzt, dann ist die Pay-off-Periode bei hohen Anschaffungsausgaben und geringen laufenden Ausgaben länger als bei geringen Anschaffungsausgaben und höheren laufenden Ausgaben. Die Pay-off-Periode als Auswahlkriterium bevorzugt also arbeitsintensive Verfahren.

Ein Kapitalbedarf für die im Kalkulationszeitpunkt beginnenden Investitionen tritt jedenfalls nur während der Pay-off-Periode auf. Nach ihrem Ablauf trägt sich die Investition selbst. Die laufenden Ausgaben werden mit den laufenden Einnahmen beglichen.

Durch die Aufnahme von Kapital ändert sich die Überschußkurve des Finanzplans. Die neue Kurve einschließlich der aufgenommenen Mittel paßt sich im ersten Abschnitt (Periode 0-2 in Abb. 6) dem zusätzlichen Kapitalbedarf an, wenn es gelingt, die Kapitalbeschaffung in ihren Modalitäten genau auf den Bedarf abzustimmen. Je nach Art der Kapitalbeschaffung sinkt die Überschußkurve im zweiten Abschnitt unter die ursprüngliche Kurve (Fremdkapitalbeschaffung) oder sie bleibt darüber (zinslose Eigenkapitalbereitstellung). Die neue Form der Kurve richtet sich nach der Höhe der Zinsen oder Ausschüttungen, deren Terminen und nach der zeitlichen Verteilung der Rückzahlung des zusätzlich aufgenommenen Kapitals.

Schwieriger wird die Analyse der finanziellen Auswirkungen bei Investitionen mit unvollständigen Zahlungsreihen. Sind die Zahlungsreihen zeitlich unvollständig, so läßt sich der Kapitalbedarf meistens noch feststellen, weil die Zahlungsreihen selten schon vor Erreichen des Pay-off-Zeitpunkts abbrechen werden. Die Abstimmung dieser Investitionen mit dem Finanzplan bringt noch keine besonderen Probleme. Anders ist es bei Investitionen mit sachlich unvollständigen Zahlungsreihen. Ist anzunehmen, daß die fehlenden Zahlungen innerhalb der Pay-off-Periode liegen werden, dann läßt sich der Kapitalbedarf nicht mehr feststellen. Man wird dennoch eine Gegenüberstellung der ermittelten Einnahmen und Ausgaben vornehmen, wenn man damit rechnen kann, daß der größte Teil der Zahlungen erfaßt ist. Der daraus resultierende Kapitalbedarf läßt immerhin Schlüsse über die ungefähre Höhe des tatsächlichen Kapitalbedarfs zu.

Bei Investitionen mit sachlich unvollständigen Zahlungsreihen, bei denen lediglich die Ausgaben ermittelt werden können, ist die Kapitalbedarfs-Ermittlung insofern ein Problem, als die Ausgaben, soweit sie vollständig erfaßt sind, nur die Obergrenze des Kapitalbedarfs angeben. Der Kapitalbedarf wird niedriger sein, wenn die Investition die Einnahmen erhöht. Da die Einnahmeerhöhung jedoch nicht feststeht, läßt sich der wirkliche Kapitalbedarf nicht ermitteln. Das Problem findet aber insofern eine Lösung, als die Einnahmeänderungen insgesamt doch in irgendeiner Form berücksichtigt werden. Die Investitionen können z.B. eine allgemeine Ausweitung der Produktion und des Absatzes mit sich bringen, welche in der Gesamteinnahmenplanung ihren Niederschlag findet. Es läßt sich dann zwar nicht der eigentliche Kapitalbedarf der Investition feststellen, weil die Einnahmen nicht zugerechnet werden, aber es genügt dann, wenn der aus den Ausgaben resultierende Kapitalbedarf mit dem Finanzplan abgestimmt wird, in welchem die zukünftigen Gesamteinnahmen enthalten sind.

In der Praxis gewinnt die Abstimmung der Zahlungsreihen einer Investition mit dem Finanzplan an Bedeutung, wenn es sich um große Projekte handelt. Bei kleineren Investitionen wird man auf eine derartige Abstimmung verzichten und mehrere Investitionen zu einem Investitionsprogramm zusammenstellen. In diesem Fall müssen die Gesamtzahlungsreihen des Programms mit dem Finanzplan abgestimmt werden¹²⁰⁾.

bb) Die Risikoauswirkungen einer Investition

Die Entscheidung über die Durchführung einer Investition wird sich nicht nur nach der Rentabilität und nach den finanziellen Auswirkungen des Vorhabens richten. Sie wird auch von dem Ausmaß des zu übernehmenden Risikos beeinflusst werden. In unseren bisherigen Ausführungen haben wir das zu übernehmende Risiko lediglich bei der Bewertung der erwarteten

120) Vgl. unsere Ausführungen S. 224-230.

ten Zahlungsreihen herangezogen. Das Ergebnis dieses Bewertungsprozesses war der endgültige Zahlungsverlauf, der bei den nachfolgenden Analysen zugrunde gelegt wurde. Diesen Vorgang muß man von dem anschließenden Prozeß unterscheiden, bei dem es nicht mehr darum geht, die erwarteten Zahlungen zu fixieren, sondern unerwartete, aber immerhin mögliche Ereignisse zu erfassen. Der Investor wird nämlich bei der Entscheidung nicht nur auf die Erwartungen aufbauen. Er wird sich auch die Frage stellen: Was geschieht, wenn meine Erwartungen nicht eintreffen? Die Antwort auf diese Frage läßt sich mit Hilfe der bereits beschriebenen Risikoanalyse finden. Die bei der Risikoanalyse ermittelten möglichen Abweichungen vom vorläufigen Zahlungsverlauf geben nämlich gleichzeitig die Untergrenze der Einnahmen bzw. die Obergrenze der Ausgaben einer Investition an. Sie beantworten damit die Frage, was geschehen könnte, wenn die betreffenden Risiken eintreten. Damit ist aber noch nicht geklärt, wie der Investor die Risikowirkung einer Investition bei der Planung berücksichtigen soll.

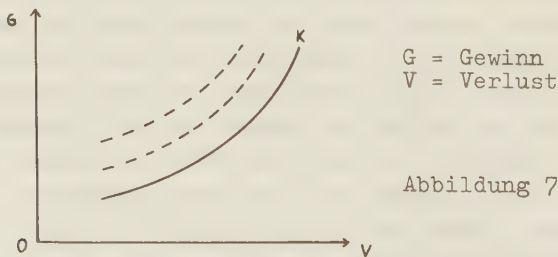
Der Investor könnte folgenden Weg zur Auswertung der festgestellten Risikowirkung einschlagen: Er zieht die Ergebnisse der Risikoanalyse dazu heran, einen Risiko-Zahlungsverlauf zu ermitteln. Dieser Risikozahlungsverlauf muß die einzelnen Risikoarten und ihren Einfluß auf die Zahlungen berücksichtigen. Er stellt den unwahrscheinlichen, aber immerhin möglichen schlechtesten Zahlungsverlauf dar. Es soll sich aber dabei nicht um einen durch extremes Schwarzsehen ermittelten Verlauf, sondern um einen bei skeptischer Beurteilung der zukünftigen Entwicklung für möglich gehaltenen Verlauf handeln. Man sieht, daß es im einzelnen von der Vorstellungskraft des Investors abhängen wird, welcher Zahlungsverlauf sich bei diesen Überlegungen ergibt.

Der Risiko-Zahlungsverlauf könnte nun dazu dienen, den möglichen Verlust in Form eines negativen internen Zinsfußes auszurechnen. Damit ständen nunmehr, wenn man einmal von den finanziellen Auswirkungen der Investition absieht, zwei

Werte für die Investitionsentscheidung zur Verfügung:

1) Der nach dem erwarteten Zahlungsverlauf errechnete interne Zinsfuß der Investition als Gewinnkriterium. 2) Der nach dem Risiko-Zahlungsverlauf ermittelte negative interne Zinsfuß der Investition als Verlust- oder Risikokriterium. Die Entscheidung müsste anhand dieser zwei Werte getroffen werden, wenn die Risikowirkung berücksichtigt werden soll. Das ist nur durch die Umwandlung der beiden Werte in einen einzigen Wert möglich. Man kann diese Umwandlung dadurch erreichen, daß man das Gewinn-Risikoverhältnis in irgendeiner Weise festlegt. Wir wollen kurz beschreiben, wie man dabei vorgehen kann.

Die Vorgabe des Gewinn-Risiko-Verhältnisses könnte in der Form einer Indifferenzkurve geschehen. Der Unternehmer überlegt sich zu diesem Zwecke, welche Relation zwischen Gewinn und Risiko bestehen soll, damit er sich gerade noch entschließt, die Investition vorzunehmen. Er kann die Kurve nur dann aufstellen, wenn er in der Lage ist, abstrakte Gewinnzahlen abstrakten Verlustmöglichkeiten gegenüberzustellen. Die Indifferenzkurve wird den in Abb. 7 gezeichneten Verlauf haben. Über die Höhe der Kurve läßt sich kei-



ne Aussage machen. Es steht lediglich fest, daß mit steigender Verlustmöglichkeit der Gewinn überproportional steigen muß, wenn der Unternehmer kein Hasardeur ist. Links von der Kurve lassen sich weitere Indifferenzkurven zeichnen. Rechts von ihr liegt der Bereich des Risikos, das der Unternehmer nicht mehr übernehmen möchte.

Das Indifferenzkurvenfeld kann in unterschiedlicher Weise die Entscheidung bestimmen. Wenn wie in Abb. 7 eine Schar von Indifferenzkurven angenommen wird, dann könnte bestimmt werden, daß von mehreren konkurrierenden Projekten immer dasjenige durchzuführen ist, das auf der höchsten Indifferenzkurve liegt¹²¹⁾. Man kann aber auch davon ausgehen, daß es für den Unternehmer nur eine einzige Indifferenzkurve gibt, die lediglich den Zweck hat, die Abhängigkeit des Risikos, das der Unternehmer gerade noch bereit ist, einzugehen, von der Gewinnhöhe darzustellen¹²²⁾. Diese Kurve grenzt gewissermaßen den Bereich der für den Unternehmer überhaupt in Frage kommenden geschäftlichen Aktionen ab. Liegt das geplante Vorhaben in diesem Bereich, also links von der Kurve, so wird nach reinen Gewinnkriterien entschieden.

Die Vorgabe eines einzigen Indifferenzkurvenfeldes setzt allerdings voraus, daß das Eintreten der Gewinnchancen und Risiken aller Investitionsvorhaben mit der gleichen Intensität¹²³⁾ beurteilt wird. Das trifft in Wirklichkeit nicht zu. Von jeder Investition hat man eine eigene Vorstellung über das Eintreten des erwarteten Gewinns und des möglichen Risikos. Man müßte infolgedessen die Eintrittsintensität standardisieren. Das könnte z.B. in der Form geschehen, daß man für jede Investition das Verhältnis von Gewinnchance zu Verlusteintritt festlegt. Es könnte etwa bei zwei Investitionen 90% zu 10% und 80% zu 20% lauten. Um zu einer

121) In dieser Weise verwendet Krelle das Indifferenzkurvenfeld. Vgl. Krelle, Wilhelm, Unsicherheit und Risiko in der Preisbildung, S. 645.

122) In gleicher Weise verwendet der Arbeitskreis Hax die Indifferenzkurve. Vgl. hierzu Arbeitskreis Hax der Schmalenbach-Gesellschaft, Wesen und Arten unternehmerischer Entscheidungen. In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 685-715, hier S. 702.

123) Wir wählen absichtlich diesen Ausdruck, weil der Begriff Wahrscheinlichkeit, der hier auch passen würde, den Eindruck der Quantifizierbarkeit erweckt.

Standardvorgabe zu kommen, wählt man eines der beiden Verhältnisse als Maßstab und gibt an, wie man das eine Verhältnis auf das andere umzurechnen hat¹²⁴⁾. Eine derartige Vorschrift ist für alle relevanten Verhältnisse anzugeben. Die geringen Chancen (welche das sind, hängt von der Risikofreudigkeit ab) werden nicht umgerechnet. Sie scheiden aus.

Man sieht aus dieser Beschreibung, welche Anforderungen an den Unternehmer gestellt werden müßten, damit die Rechnung zu eindeutigen Lösungen führt. Die Mehrstufigkeit des Verfahrens ist u.E. eher dazu geeignet, die Risikobeurteilung einer Investition zu verdecken als diese klarzulegen. Schon aus diesem Grunde scheidet in der Praxis die Vorgabe der Risiko-Gewinn-Einstellung des Unternehmers aus. Selbst wenn sie aber durchgeführt würde, so überließe man der Entscheidungsvorbereitung immer noch die Bewertung der Intensität des Gewinn- und Risikoeintritts. Vorschriften für diese Bewertung lassen sich nicht präzise fassen. Damit würde die Entscheidung im wesentlichen von der subjektiven Einstellung der Vorbereitungsorgane abhängen und nicht von der Zielvorstellung des Unternehmers, denn der verbleibende Spielraum ist außerordentlich groß. Uns erscheint daher eine Vorgabe des Gewinn-Risikoverhältnisses weder sinnvoll noch praktikabel. Das schließt nicht aus, daß der Grundgedanke, auf dem dieses Verfahren aufbaut, in irgendeiner Form zur Anwendung kommt. Das könnte in der Weise geschehen, daß der Investor Vorstellungen über das Ausmaß des von ihm höchstens zu übernehmenden Risikos entwickelt und eine Obergrenze festlegt; die auf diese Weise ermittelte Obergrenze kann eventuell überschritten werden, wenn es sich um Investitionen mit hohen Gewinnchancen handelt.

124) Wir wollen nicht näher auf die Umrechnung eingehen und auf das Beispiel von Krelle verweisen. Vgl. Krelle, Wilhelm, Unsicherheit und Risiko in der Preisbildung, S. 643.

Der Investor wird bei der Bestimmung der Risikoobergrenze Kennzahlen heranziehen, welche die relative Bedeutung des Risikos auf die Unternehmung erkennen lassen. Eine wichtige Relation ist in diesem Zusammenhang das Verhältnis von möglicher Verlusthöhe zum Eigenkapital der Unternehmung. Es zeigt an, ob das Unternehmen bei Risikoeintritt gefährdet ist oder ob der Verlust keine nennenswerte Gefahr darstellt. Eine Gefahr wäre schon dann gegeben, wenn der mögliche Verlust einen wesentlichen Anteil des Eigenkapitals ausmacht. Es ist nämlich zu beachten, daß das Eigenkapital für die gesamte Unternehmenstätigkeit als Risikoträger fungiert. Deshalb darf die Risikobeanspruchung durch die einzelne Investition nicht sehr hoch sein. Will man die Relation zwischen vertretbarem Risiko und Eigenkapital ermitteln, so hat man alle bereits übernommenen und alle in absehbarer Zeit zu übernehmenden Risiken in die Überlegungen einzubeziehen. Es wird sehr schwierig sein, diese Relation in etwa zu bestimmen, denn einmal stehen die in naher Zukunft zu übernehmenden Risiken noch nicht fest, zum zweiten kann aber damit gerechnet werden, daß nicht alle Verlustgefahren gleichzeitig eintreten; deshalb könnte der mögliche Gesamtverlust, der sich aus den möglichen Verlusten aller einzelnen Investitionen zusammensetzt, das Eigenkapital auch überschreiten.

Unsere Überlegungen zeigen, wie schwierig es im einzelnen sein wird, den Aktionsbereich der Unternehmung nach Risikogesichtspunkten abzugrenzen. Dennoch muß bei jeder Investition entschieden werden, ob das mit ihr verbundene Risiko übernommen werden kann oder nicht. Die beschriebene Analyse der Risikowirkung einer Investition kann dabei als Entscheidungshilfe dienen. Sie legt aber keineswegs eindeutig fest, ob das Risiko einer Investition übernommen werden kann oder nicht. Für diese Entscheidung bleibt noch ein entsprechender Spielraum. Die Entscheidung innerhalb dieses Spielraums hängt von der subjektiven Einstellung der Entscheidungsorgane ab.

Die Analyse der Risikoauswirkung wird, wie auch die Analyse der finanziellen Auswirkungen, nur bei bedeutenden Investitionen durchgeführt werden. Bei vielen Investitionen wird man dagegen voraussetzen können, daß die Risikoauswirkungen bei weitem nicht an die Obergrenze heranreichen werden. Deshalb wird man eine eingehende Risiko-Untersuchung bei ihnen unterlassen.

cc) Die Marktauswirkungen einer Investition

Die Marktauswirkungen einer Investition lassen sich zum Teil aus dem erwarteten Zahlungsverlauf ableiten, zum Teil müssen aber noch andere Ausgangsdaten dazu herangezogen werden. Der Umsatz läßt sich an der erwarteten Einnahmenreihe einer Investition ablesen. Daraus geht hervor, daß für Investitionen, deren Einnahmewirkungen nicht festgestellt werden können, kein Umsatz angegeben werden kann. Der Umsatz wird deshalb auch nur bei solchen Investitionen als Beurteilungskriterium eine Rolle spielen, deren Auswirkungen auf den Absatz der Produkte erkennbar ist.

Streng genommen ist der durch eine Investition bewirkte Umsatz nur dann ein aussagefähiges Merkmal, wenn er über den gesamten Zeitraum der Nutzung festgestellt wird. Erst dann kann nämlich überprüft werden, ob die Investition zur gewünschten Umsatzentwicklung des Unternehmens einen entscheidenden Beitrag leistet oder nicht. Nun wäre aber in einem solchen Falle, bei dem die Einnahmen einer Investition vollständig festgestellt werden können, weniger der Umsatz, als vielmehr der Gewinn für die Entscheidung ausschlaggebend. Der Umsatz wird aber hauptsächlich dann als Beurteilungskriterium einer Investition herangezogen werden, wenn die Einnahmen nur für die ersten Perioden der Laufzeit des Vorhabens geschätzt werden können. In diesem Fall läßt sich der Gewinn nämlich nicht feststellen. Man wird deshalb auf den Jahresumsatz zurückgreifen und unterstellen, daß die Investitionen, welche eine kräftige Umsatzerhöhung in den kommenden Jahren bewirken, letzten Endes auch einen hohen Gewinn

abwerfen werden. Der Umsatz spielt aber noch in einem anderen Zusammenhang eine Rolle: er dient zur Messung der Veränderung des Marktanteils einer Unternehmung. Der Marktanteil kann dabei auf einzelne Erzeugnisse oder auf die ganze Branche bezogen werden. Betrachtet eine Unternehmung die Beibehaltung oder eine bestimmte Ausdehnung des Marktanteils als Grundlage ihrer Investitionspolitik, so wird sie diejenigen Investitionen auswählen, welche den entsprechenden Umsatz bringen werden. Durch Vergleich des erwarteten Jahresumsatzes der Konkurrenten mit den eigenen Umsatzerwartungen läßt sich feststellen, ob der Marktanteil zurückgeht, ob er gehalten oder ob er vergrößert wird. Gegebenenfalls werden dabei Investitionen mit höherem Gewinn zugunsten von Investitionen mit höherem Umsatz zurückgestellt. Das geschieht meistens in der Überzeugung, daß die dadurch gewonnene Ausgangsposition langfristig gesehen einen höheren Gewinn bringt als andere Ausgangspositionen. Es zeigt sich also, daß es in bestimmten Situationen sinnvoll sein kann, die Investitionspolitik am Umsatz und am Marktanteil auszurichten. Auf jeden Fall werden diese Kriterien aber bei den Investitionsüberlegungen herangezogen werden. Im Extremfall kann es vorkommen, daß bestimmte Investitionen der langfristigen Absatzpolitik zuwider laufen und deshalb alleine aus diesem Grund abgelehnt werden.

c) Die Entscheidung über die Aufnahme der Einzelinvestitionen in die Planung des Investitionsprogramms

Die letzte Stufe der Einzelanalyse ist die Entscheidung über die Aufnahme der einzelnen Vorhaben in die Planung des Investitionsprogramms. Es handelt sich dabei noch nicht um die Entscheidung über die endgültige Durchführung der Investition, weil in diesem Planungsstadium noch nicht feststeht, ob das einzelne Projekt im Rahmen des Programms vorteilhaft ist oder nicht. Es gibt nur eine Ausnahme, bei der am Ende der Einzelanalyse schon über die Durchführung einer Investition entschieden wird: der Fall, bei dem nur eine einzi-

ge Investition durchgeführt werden soll. Wir wollen diesen Fall kurz behandeln, um dann zum allgemeinen Fall überzugehen.

Soll nur eine einzige Investition durchgeführt werden, so ist zunächst zu prüfen, ob die in Frage kommenden Alternativen die Mindestanforderungen hinsichtlich der finanziellen Auswirkungen und hinsichtlich der Einhaltung der Risikoobergrenze erfüllen. Möglicherweise scheidet bei dieser Überprüfung die eine oder andere Alternative bereits aus. Von den verbleibenden Alternativen ist nun diejenige mit dem höchsten Gewinn zu ermitteln. Das ist die Alternative, die den höchsten jährlichen Zinsertrag abwirft. Der Zinsertrag wird durch Multiplikation des Kapitaleinsatzes der Investition mit ihrem internen Zinsfuß errechnet. Wir werden uns im Zusammenhang mit der Aufstellung von Investitionsprogrammen noch ausführlich mit dem Zinsertrag befassen¹²⁵⁾.

Es sei ausdrücklich vermerkt, daß dieses Auswahlkriterium nur richtig ist, wenn keine weitere Investition stattfinden soll und wenn nach Ablauf der Nutzungsdauer eine Wiederholung der Investition möglich ist. Als Investition gilt in diesem Zusammenhang auch die Anlage des Kapitals außerhalb der Unternehmung. Sobald eine weitere Investition als durchführbar in die Überlegungen einbezogen wird, gelten die Regeln über die Aufstellung des Investitionsprogramms, die wir noch zu entwickeln haben.

Unsere Ausführungen zeigen, daß der geschilderte Fall der Durchführung einer einzelnen Investition ein Extremfall ohne praktische Bedeutung ist. Der Investor wird immer die Möglichkeit einbeziehen, zumindest die nicht für betriebliche Investitionszwecke verwendeten Restbeträge seines Kapitals außerhalb der Unternehmung anzulegen. Schon in diesem Falle handelt es sich aber um die Planung eines wenn auch sehr einfachen Investitionsprogramms. Die Unterscheidung in

125) Vgl. unsere Ausführungen S.189-205.

Investitionen außerhalb und innerhalb der Unternehmung ist dabei ökonomisch ohne Bedeutung. Selbst wenn aber der Unternehmer aus irgendwelchen Gründen die Absicht hat, sein Kapital ausschließlich in der Unternehmung anzulegen, so läge der Fall der Planung einer einzigen Investition nur dann vor, wenn die Vorhaben sich ausnahmslos gegenseitig ausschließen und eventuelle Kapitalrestbeträge unverzinslich gehalten werden müßten. Diese Konstellation ist ebenfalls ohne praktische Bedeutung, da in einem Unternehmen immer mehrere nebeneinander durchführbare Kapitalverwendungsmöglichkeiten gegeben sein werden.

Unsere Überlegungen zeigen, daß es bei den praktisch bedeutsamen Investitionsentscheidungen immer um die Zusammenstellung eines Investitionsprogramms geht. In vielen Fällen wird es sich um sehr einfache Programme handeln. Das ändert nichts an der grundsätzlichen Gültigkeit der Regeln für die Aufstellung von Investitionsprogrammen. Die als letzte Stufe der Einzelanalyse zu fällende Entscheidung betrifft daher nur die Zulassung der Investitionen zur Planung des Investitionsprogramms.

Die oben beschriebenen Beurteilungskriterien dienen bei der Entscheidung als Auslese Kriterien. Es sei kurz beschrieben, wie die Auslese vor sich gehen kann.

Der interne Zinsfuß und die davon abgeleiteten Kriterien für Investitionen mit unvollständigen Zahlungsreihen werden die Aufnahme einer Investition in die Programmplanung verhindern, wenn die Rentabilität des Vorhabens gering ist oder wenn die Investition unrentabel ist. Um dies festzustellen, muß der interne Zinsfuß der Investition mit einem Ausscheidungszinssatz verglichen werden. Der Ausscheidungszinssatz hat nicht die Funktion eines Kalkulationszinssatzes zu erfüllen und braucht nicht präzise berechnet zu werden. Er dient lediglich zur Ausschließung der völlig aussichtslosen Investition. Andere Aufgaben hat er nicht. Der Ausscheidungszinssatz ist daher so anzusetzen, daß er ein vorzeitiges Ausscheiden von

solchen Investitionen verhindert, die bei einer entsprechend günstigen Finanzierung noch einen Gewinn abwerfen werden. Da die Finanzierungskosten aber vom Umfang des gesamten Kapitalbedarfs abhängen werden und somit im voraus noch nicht feststehen, müssen sie geschätzt werden. Es kann sich bei dieser Schätzung ^{nur} um den erwarteten Durchschnittszinssatz handeln, denn der Grenzzinssatz der teuersten Finanzierungsart wäre zwar der richtige Ausscheidungssatz, er läßt sich aber viel schwieriger schätzen als der Durchschnittszinssatz und würde bei Fehlschätzungen eventuell zur vorzeitigen Ausschließung von noch ausreichend rentablen Investitionen führen. Investitionen, die weniger einbringen als die erwarteten Durchschnittskosten der Finanzierung, sind von vornherein aussichtslos und können ausgeschieden werden. Im Zweifel empfiehlt es sich aber, eher eine Investition zur weiteren Planung zuzulassen, denn im Rahmen der Programmaufstellung wird sich endgültig zeigen, ob die Investition vorteilhaft ist oder nicht.

Die Investitionen mit unvollständigen Zahlungsreihen werden bei diesem Ausleseprozeß in die weitere Planung übernommen, wenn die Erwartungen der ersten Perioden besonders günstig sind und eine höhere als die für die Auslese festgesetzte Verzinsung versprechen.

Die finanziellen Auswirkungen einer Investition spielen bei der Auslese nur dann eine Rolle, wenn von vornherein feststeht, daß der entstehende Kapitalbedarf nicht gedeckt werden kann. Das dürfte nur bei sehr umfangreichen Projekten der Fall sein. Im Zweifel ist es auch hier angebracht, das vorzeitige Ausscheiden einer Investition zu verhindern. Die finanziellen Auswirkungen der Investitionen müssen bei der Aufstellung des Programms nochmals berücksichtigt werden. Insofern spielen die finanziellen Auswirkungen einer einzelnen Investition als Auslesekriterium eine geringe Rolle.

Die Risikowirkung einer Investition ist hingegen im Rahmen der Einzelanalyse ein sehr wichtiges Auslesekriterium. Das

Risiko der einzelnen Investition wird nämlich bei der Programmaufstellung nicht nochmals berücksichtigt. Die Gründe dafür sind folgende: Zur Einbeziehung des Risikos der einzelnen Investitionen müßte jedem Vorhaben eine Risikokennzahl zugeordnet werden. Diese Kennzahl würde als Koeffizient angeben, welches Risiko mit der zugehörigen Investition verbunden ist. Eine Auswertung der Koeffizienten könnte in der Weise erfolgen, daß entweder in der Zielfunktion oder in den Nebenbedingungen des Programmsatzes die Vorstellungen des Investors in bezug auf das gesamte einzugehende Risiko zum Ausdruck kommt. Ein solches Verfahren scheitert schon an der Schwierigkeit, richtige Risikokoeffizienten zu ermitteln¹²⁶⁾. Weitere Schwierigkeiten treten hinzu, wenn eine Abhängigkeit des zu übernehmenden Gesamtrisikos von der Höhe des erzielbaren Gesamtgewinns besteht.

Aus diesen Gründen wird man das Risiko vor der Programmzusammenstellung durch eine einfache Auslese berücksichtigen. Man wird alle Einzelvorhaben, die nach den Vorstellungen des Unternehmers mit zu hohen Risiken verbunden sind, aus der weiteren Planung ausklammern. Zu dieser Auslese dienen die Angaben über die Risikowirkung der Investition, die in der oben beschriebenen Weise ermittelt wurden. Im Idealfall kann eine festgelegte Risikoobergrenze die Auslese erleichtern. Bei dieser Art der Berücksichtigung des Risikos für die Auslese ist die Risikowirkung als Beurteilungskriterium der Investition wesentlich wichtiger, als die Rentabilität und die finanziellen Auswirkungen. Die beiden letztgenannten Kriterien werden nämlich bei der Programmzusammenstellung erneut eingesetzt. Die Risikowirkung wird hingegen bei der Programmaufstellung nicht mehr in die Überlegungen einbezogen.

Als letzte Beurteilungskriterien haben wir noch den Einfluß der Marktauswirkungen auf die Entscheidung zu behandeln.

126) Vgl. hierzu unsere Ausführungen auf S. 16-19.

Die Marktauswirkungen einer Investition werden dann zum Ausscheiden einer Investition führen, wenn unerwünschte Auswirkungen mit der betreffenden Investition verbunden sind. Stellt sich beispielsweise heraus, daß eine Investition gegenüber ihrer Alternative einen Marktanteil nicht erreicht, der unbedingt erzielt werden soll, so kann sie von vornherein ausgeklammert werden. Der Fall ist auch umgekehrt vorstellbar. Die Investitionen mit höherem Umsatz werden jedoch nur dann bevorzugt, wenn die Erreichung eines bestimmten Marktanteils das vorrangige Ziel der Unternehmung darstellt und wenn dafür sogar Gewinneinbußen in Kauf genommen werden.

Bei Projekten, deren interner Zinsfuß nicht ermittelt werden kann, deren Marktauswirkungen aber zumindest für die ersten Perioden nach dem Planungszeitpunkt feststehen, wird der Umsatz sozusagen als Hilfskriterium herangezogen werden und veranlassen, daß die eine oder andere dieser Investitionen in die Programmplanung aufgenommen werden.

Wir sehen, daß die Marktauswirkungen einer Investition eher für Sonderfälle oder als Aushilfskriterien herangezogen werden und keinen allzu großen Einfluß auf die Auslese haben werden.

Mit der Auslese der für die Programmmzusammenstellung vorgesehenen Investitionen ist die Einzelanalyse abgeschlossen. Wir haben gezeigt, welche Beurteilungskriterien bei der Auslese angewandt werden und daß die einzelnen Kriterien als Mindestanforderungen aufzufassen sind. Die Risikowirkung einer Investition ist dabei als Auslesekriterium besonders wichtig. Die anderen Auslesekriterien dienen mehr dazu, den Planungsaufwand bei der Programmaufstellung in Grenzen zu halten und die aussichtslosen Vorhaben vorzeitig auszuschalten. Diese Kriterien werden im übrigen bei der Zusammenstellung des Investitionsprogramms erneut zur endgültigen Auswahl der Projekte herangezogen.

B. Die Zusammenstellung des Investitionsprogramms

Vorbemerkungen

Die bisher beschriebenen Modelle befassen sich mit der Einzelanalyse von Investitionen. Daher blieb offen, wie man vorzugehen hat, wenn mehrere Investitionen nebeneinander durchgeführt werden sollen. Mit diesem Problemkreis befassen sich die Investitionsprogramm-Modelle, die im folgenden behandelt werden sollen. Die in einem Investitionsprogramm enthaltenen Vorhaben dürfen sich nicht gegenseitig ausschließen; sie müssen sich vielmehr ergänzen. Die Projekte stehen daher in einem komplementären Verhältnis zueinander. Im Gegensatz dazu standen die Vorhaben des Alternativvergleichs in einem konkurrierenden Verhältnis zueinander. Wir können daraus die Definition des Begriffs Investitionsprogramm ableiten: Das Investitionsprogramm ist ein Plan, der mehrere gleichzeitig nebeneinander durchführbare Projekte enthält. Aus dieser Definition darf nicht geschlossen werden, daß konkurrierende Investitionen schon vor der Planung eines Investitionsprogramms ausgesondert werden. Die Aussonderung geschieht erst im Verlauf des Planungsprozesses. Deshalb enthält der Programmansatz noch konkurrierende Investitionen. Die Lösung, die das eigentliche Investitionsprogramm darstellt, darf hingegen keine konkurrierenden Vorhaben mehr enthalten.

Die Modelle, die der Auffindung optimaler Investitionsprogramme dienen, lassen genau wie die Modelle der Einzelanalyse wesentliche Fragen unberücksichtigt, die zu lösen sind, wenn in der Praxis Investitionsprogramme aufzustellen sind. Diese Fragen sollen im Anschluß an die Modelldarstellung behandelt werden.

Wir haben bei der Durchführung der Einzelanalyse die Kapitalwert-Methode ausgeschaltet, weil die exakte Bestimmung des anzuwendenden Kalkulationszinsfußes uns nicht möglich erscheint. Da die Modelle für die Zusammenstellung von In-

vestitionsprogrammen auf der Einzelanalyse aufbauen, haben wir somit bereits die Entscheidung getroffen, daß u.E. nur die Modelle nach der Internen-Zinsfuß-Methode zur Anwendung geeignet sind. Aus den nachfolgenden Gründen sollen aber auch die Modelle behandelt werden, die auf der Kapitalwert-Methode aufbauen:

Einmal geschieht dies im Interesse systematischer Vollständigkeit der Darstellung; zweitens kann mit Hilfe des Kapitalwert-Modells eine nochmalige Überprüfung des Ergebnisses der für die Einzelanalyse durchgeführten Untersuchung erfolgen; drittens wird durch die Beschreibung des Kapitalwert-Modells das Wesen der Programm-Modelle deutlich; viertens liefert das Kapitalwert-Modell die Grundlage für die anschließende Erörterung der Modelle für Investitionsprogramme, die auf der Internen-Zinsfuß-Methode aufbauen. Fünftens kommt noch hinzu, daß die Anwendung der Linearen Planungsrechnung auf Investitionsmodelle zuerst anhand der Kapitalwert-Methode entwickelt wurde. Als Grundlage zur Beschreibung des Ansatzes mit Hilfe der Linearen Planungsrechnung muß daher auch das einfache Kapitalwert-Modell zur Aufstellung eines Investitionsprogramms beschrieben werden.

I. Darstellung der Modelle

1. Die Bestimmung des optimalen Investitionsprogramms nach der Kapitalwert-Methode

- a) Das optimale Investitionsprogramm bei unbegrenztem Kapitalangebot zum einheitlichen Zinssatz

Die Prämisse, welche dem einfachen Kapitalwert-Modell zugrunde lag, lautete: Zum gegebenen Kalkulationszinsfuß können jederzeit beliebige Beträge aufgenommen und verliehen werden. Diese Bedingung soll für das folgende Modell in der Weise gelten, daß die Aufnahme beliebiger Beträge möglich ist, und daß diese Mittel, soweit sie nicht für Projekte, die das Modell selbst enthält, benötigt wer-

den, zum einheitlichen Marktzinssatz außerhalb der Unternehmung angelegt werden können. Der Anlagezinssatz außerhalb der Unternehmung sei gleich dem Leihzinssatz. Die Angebotskurve des Kapitals hat damit die Gestalt der Kurve 1¹²⁷⁾. Eine solche Situation wird als vollkommen elastisches Kapitalangebot bezeichnet. Die Kurve 2 beschreibt übrigens den Fall der Kapitalrationierung und die Kurve 3 den Fall des Kapitalangebots zu unterschiedlichen Zinssätzen, welches hier bereits nach der Höhe der Zinssätze geordnet ist. Auf diese Fälle gehen wir später ein.

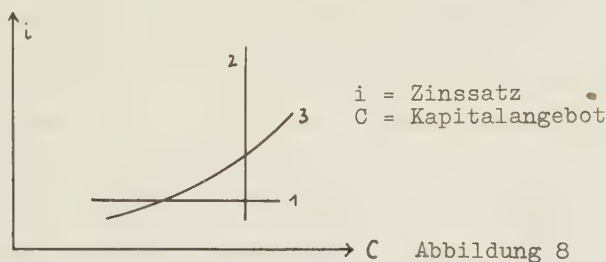


Abbildung 8

Das hier zu analysierende Modell beschreibt somit folgende Situation: Der Investor hat eine Reihe von Anlagemöglichkeiten zur Auswahl, die er nebeneinander durchführen kann. Die Zahlungsreihen der Investitionsobjekte sind gegeben. Der Investor sei infolgedessen in der Lage, den Kapitalwert des jeweiligen Investitionsobjekts simultan mit der Nutzungsdauer zu errechnen¹²⁸⁾. Welche Investitionen soll er durchführen und wie weit soll er das Investitionsvolumen ausdehnen? In diesem Falle kann der Investor ohne Schwierigkeiten ein optimales Investitionsprogramm ermitteln: er realisiert alle Investitionsvorhaben, die bei dem gegebenen Leihzinssatz einen positiven Kapitalwert erzielen.

127) Vgl. hierzu die Beschreibung der Angebotskurven bei Dean, Joel, Capital Budgeting, S. 67 und 68 und Albach, Horst, Investition und Liquidität, Wiesbaden 1962, S. 41-43.

128) Vgl. S. 60 ff.

Schwierigkeiten gibt es allerdings, wenn die Investitionsvorhaben nicht voneinander unabhängig sind und wenn bestimmte Kombinationen auftreten, die neben Projekten mit positivem Kapitalwert auch solche mit negativem Kapitalwert enthalten, die aber insgesamt einen höheren Kapitalwert erzielen, als diejenigen Kombinationen, die nur aus Projekten mit positivem Kapitalwert bestehen. Diese Verbundenheit der Vorhaben untereinander braucht sich nicht nur auf die technische Seite beziehen. Es kann sich beispielsweise eine günstigere Zahlungsreihe durch entsprechende Sortimentszusammensetzung ergeben, die durch eine Kombination von zwei Vorhaben entsteht. Bei isolierter Untersuchung der einzelnen Vorhaben könnte aber eines der Vorhaben der Untergrenze (Kalkulationszinsfuß) zum Opfer fallen.

Der Investor darf sich in diesen Fällen nicht damit begnügen, die Kapitalwerte aller Vorhaben isoliert zu berechnen. Er muß auch die Kapitalwerte möglicher Kombinationen von Vorhaben ermitteln und prüfen, ob solche Vorhaben, die für sich betrachtet einen negativen Kapitalwert ergeben würden, in Form einer Kombination mit anderen Vorhaben in das Programm aufgenommen werden müssen, weil sie den Gesamtkapitalwert des Programms erhöhen.

Diese Erörterungen mögen als überflüssig angesehen werden, weil der Kapitalwert solcher Investitionen eben nicht negativ ist. Es leuchtet jedoch ein, daß die Frage praktische Bedeutung hat. Nimmt man nämlich die Auslese schon im Anschluß an die Einzelanalyse vor, so werden Projekte der geschilderten Art oft vorzeitig aus den weiteren Überlegungen verbannt.

Es zeigt sich jedenfalls, daß die Kombination von Investitionen schon bei vollkommen elastischem Kapitalangebot eine Rolle spielt und daß der Gesamtkapitalwert des Investitionsprogramms entscheidend ist. Wir werden sehen, daß die Bedeu-

tung der angeschnittenen Frage bei anderen Kapitalangebotskonstellationen weitaus größer ist.

b) Das optimale Investitionsprogramm bei Kapitalrationierung

aa) Die Aufgaben des Kalkulationszinsfußes bei Kapitalrationierung

Der Übergang vom Modell des unbegrenzten Kapitalangebots mit einheitlichem Zinssatz zum Modell mit Kapitalrationierung hat eine Reihe von Konsequenzen, auf die hier nur kurz eingegangen werden soll. Zunächst bedeutet er die Aufhebung der Prämisse, daß zu einem gegebenen Zinsfuß jederzeit beliebige Beträge beschafft werden können. Das Modell behandelt den Fall, bei dem ein Investor mit einem festen Budget ausgestattet ist und aus einer Anzahl von Investitionsobjekten, die gleichzeitig durchgeführt werden können, diejenigen auszuwählen hat, die insgesamt den höchsten Kapitalwert erzielen. Damit erscheinen aber wieder Differenzinvestitionen in der Betrachtung, denn die Annahme, zum Kalkulationszinsfuß beliebige Beträge beschaffen zu können, war ja gerade zur endgültigen Ausschaltung der Differenzinvestitionen nötig. Wir können jedoch unterstellen, daß auch hier die Differenzinvestitionen genau zum Kalkulationszinsfuß angelegt werden und damit einen Kapitalwert von Null haben. Diese Annahme ist wirklichkeitsnah, wenn der Kalkulationszinsfuß als Durchschnittszinsfuß aller zukünftigen Investitionsgelegenheiten aufgefaßt wird.

Der Investor muß sich deshalb bei der Bestimmung des Kalkulationszinsfußes daran orientieren, welche Anlagemöglichkeiten er hat. Damit wird aber ein Problemkreis angeschnitten, den wir bereits bei der Nutzungsdauerbestimmung angeführt haben. Die Schwierigkeiten, die sich bei der Bestimmung des Kalkulationszinsfußes ergeben, rühren daher, daß der gesuchte Kalkulationszinsfuß von dem zu ermittelnden optimalen Programm abhängt. Andererseits kann das optimale Programm

nicht ohne den Kalkulationszinsfuß ermittelt werden. Er ist erforderlich, um die Nutzungsdauer und den Kapitalwert der einzelnen Investitionen zu bestimmen, die in das Programm aufgenommen werden sollen. Mit der Erkenntnis, daß der Kalkulationszinsfuß die zukünftige erwartete Durchschnittsverzinsung des in der Unternehmung eingesetzten Kapitals ist¹²⁹⁾, kann man also wenig anfangen. Man kennt zwar die Bedingungen, die der Kalkulationszinsfuß erfüllen muß, man kann ihn aber nicht exakt bestimmen¹³⁰⁾ und man kann nicht mit ihm operieren.

Damit das Kapitalwert-Modell überhaupt angewandt werden kann, muß für die folgenden Erörterungen angenommen werden, der Investor habe sich auf einen Kalkulationszinsfuß durch Abschätzung der zukünftigen Anlagemöglichkeiten festgelegt. Er soll nun mit einem festen Budget das optimale Investitionsprogramm finden. Er wird die gegebenen Anlagemöglichkeiten solange kombinieren, bis er diejenige Kombination mit dem höchsten Gesamtkapitalwert ermittelt hat. Es besteht allerdings erst dann Gewißheit, das optimale Programm auch tatsächlich zu finden, wenn sämtliche Kombinationen durchgerechnet werden, denn die letzte mögliche Kombination kann immer noch besser sein als die bisherigen. Das führt zu der Frage, ob man diesen Probiervorgang nicht systematisieren und wesentlich abkürzen kann. Wir wollen diese Frage für verschiedene Konstellationen, ausgehend von der einfachsten, untersuchen. Wir beginnen mit dem Fall, bei dem nur ein Engpaß zu beachten ist und bei dem die in Frage kommenden Investitionen im übrigen nicht gegeneinander konkurrieren.

129) Vgl. hierzu die Ableitung Albachs. Albach, Horst, Das optimale Investitionsbudget, In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 456-470, sowie unsere Ausführungen auf S. 60-74.

130) Vgl. hierzu Moxter, Adolf, Das optimale Investitionsbudget - Stellungnahme, In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 470-473.

bb) Die Bestimmung des Investitionsprogramms unter verschiedenen Bedingungen

(1) Das Programm unter Beachtung eines einzelnen Engpasses (Beispiel I)

In Tabelle 4 sind die Daten der Anlagemöglichkeiten aufgeführt. Im vorliegenden Falle, bei dem sämtliche Investitionsmöglichkeiten nebeneinander durchgeführt werden können, ist es nicht sehr schwierig, die Lösung systematisch zu finden.

Man kann zwei Fälle unterscheiden:

1. Die Anlagemöglichkeiten mit positivem Kapitalwert reichen nicht aus, das Budget auszuschöpfen. Dann werden alle Anlagemöglichkeiten realisiert, die einen positiven Kapitalwert erzielen, und zwar nur diese. Dieser Fall wird in der Praxis von geringer Bedeutung sein.

2. Die Anlagemöglichkeiten mit positivem Kapitalwert überschreiten das Budget. Dann werden in der Reihenfolge der "relativ höchsten Kapitalwerte" solange Investitionen in das Programm aufgenommen, bis das Budget erschöpft ist.

"Relativer Kapitalwert" ist hier das Verhältnis von Kapitalwert zu Anschaffungsausgabe. Der relative Kapitalwert gibt an, wieviel Kapitalwert pro Engpaß-Einheit - hier pro Einheit Kapitaleinsatz - erzielt wird. Diese Kennziffer ist nur dann von Interesse, wenn das Kapital den Engpaß bildet. Sie ist nicht identisch mit der Rentabilität im üblichen Sinne, sondern eine Art "Zeitpunkt-Rentabilität".

T a b e l l e 4

Daten der Investitionsmöglichkeiten

Projekt	Kapital- einsatz	Kapital- wert	Relativer Kapitalwert	Rang- folge
a	50	80	8 : 5 = 1,6	2.
b	50	70	7 : 5 = 1,4	4.
c	50	60	6 : 5 = 1,2	8.
d	40	50	5 : 4 = 1,25	6./7.
e	40	45	4,5 : 4 = 1,125	10.
f	30	40	4 : 3 = 1,333	5.
g	30	35	3,5 : 3 = 1,166	9.
h	20	30	3 : 2 = 1,5	3.
i	20	25	2,5 : 2 = 1,25	6./7.
k	10	20	2 : 1 = 2,0	1.

Da der Fall selten sein wird, daß das Budget beispielsweise gerade bei Realisierung der ersten zehn besten Investitionen voll ausgeschöpft ist, vielmehr damit zu rechnen ist, daß noch ein Kapitalrest verbleibt, der nicht mehr ausreicht, die in der Rangfolge an nächster Stelle stehende Investition zu realisieren, ergeben sich periphere Kombinationsprobleme. Es muß ein Objekt gesucht werden, das in der Rangfolge möglichst weit oben steht und das den Rest des Budgets ausnützt. Möglicherweise ist ein solches Vorhaben nicht vorhanden. Dann muß geprüft werden, ob durch Auswechslung des oder der letzten, noch im Programm enthaltenen Projekte mit einem rangmäßig schlechteren, das aber das Budget besser ausnützt, eine Erhöhung des Gesamtkapitalwertes erzielt werden kann. Zur Verdeutlichung sei das Beispiel näher erläutert. Tabelle 4 zeigt die Investitionsvorhaben a bis k, geordnet nach ihren Kapitalwerten (und nach Kapitaleinsatz).

Spalte 4 enthält den relativen Kapitalwert, der die in Spalte 5 durch Ordnungszahlen bezeichnete Rangfolge bestimmt. Tab. 5 zeigt das optimale Programm bei einem Budget von 150 Ein-

heiten. Investition f, die in der Rangfolge hinter Investition b an 5. Stelle rangiert, kann nicht mehr verwirklicht werden, weil sie einen zu hohen Kapitaleinsatz erfordert. Deshalb wird die an 6. bzw. 7. Stelle stehende Investition i in das Programm aufgenommen.

T a b e l l e 5

Programm bei einem Budget von 150

Projekt	Kapitaleinsatz	Kapitalwert	Rangfolge
k	10	20	1.
a	50	80	2.
h	20	30	3.
b	50	70	4.
i	20	25	6./7.
Σ	150	225	-

T a b e l l e 6

Programm bei einem Budget von 150, i ausgeschieden:

Projekt	Kapitaleinsatz	Kapitalwert	Rangfolge
k	10	20	1.
a	50	80	2.
h	20	30	3.
b	50	70	4.
Σ	130	200	-
f	30	40	5.
d	40	50	6./7.
$\Sigma - b$	150	220	-

Nehmen wir, um einen anderen Fall zu untersuchen, an, die Investition i stehe nicht zur Wahl. Dann ist es z.B., wie Tabelle 6 zeigt, sinnvoller, b gegen f und d auszutauschen; b hat zwar einen höheren Rang; bei seiner Durchführung

könnte aber das Budget nicht voll ausgenutzt werden und b würde nur 70 Einheiten Kapitalwert erzielen, während f und d zusammen 90 Einheiten erreichen.

Wir müssen zur richtigen Beurteilung der vorgetragenen Lösung die eingeführten Prämissen nochmals hervorheben. Der vorgeschlagene Weg funktioniert zunächst nur, wenn die Projekte nebeneinander und nur einmal durchgeführt werden können. Schließen sich bestimmte Investitionen gegenseitig aus, so wird der Kombinationsprozeß komplizierter. Die mehrfache Durchführungsmöglichkeit eines Projektes könnte allerdings durch mehrfaches Einsetzen in der Tabelle berücksichtigt werden. Die gleiche Rangziffer wird in diesem Falle mehrmals vergeben. Bei Projekten, die in großer Zahl auftreten, ist diese Art des Vorgehens jedoch umständlich.

(2) Das Programm unter Beachtung zweier Engpässe
(Beispiel II)

Die Daten des folgenden Beispiels sind von Albach übernommen, der sie zur Beschreibung eines Lösungsweges mit Hilfe der Linearen Planungsrechnung verwendet¹³¹⁾. Es treten dabei zwei Engpässe auf, nämlich neben dem Kapital noch die Aufnahmefähigkeit des Marktes. Wir wollen anhand dieses Beispiels wie auch an den folgenden Beispielen untersuchen, ob die Lösung auch mit traditionellen Hilfsmitteln gefunden werden kann. Der Vorteil dieses Vorgehens besteht darin, daß man in jedem Falle durch Vergleich mit der Albach'schen Lösung eine Kontrollmöglichkeit hat.

131) Vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, S. 92-106.

T A B E L L E 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Pro- jekt	Kapa- zität je Ma- schine	Mögliche Absatz- Menge	Kapital- Eins. pro Ma- schine	Kapital- Wert pro Ma- schine	Rela- tiver Kapital- Wert	Rang der Abt. 132)	Gesamt- rang	Zahl der nutzbaren Aggregate	Kapital- bedarf 11 x 4 133)	Kapital- wert 11 x 5 134)		
A ₁	20.000 }		400.000	778.209	1,9455	1	2	1	5	5	2.000.000	3.891.045
A ₂	8.000 }	100.000	70.000	199.812	2,8544	2	1	3	4	12,5 (13)	875.000	2.497.650
A ₃	8.000 }		50.000	81.304	1,6260	3	3	5	6	12,5 (13)	625.000	1.016.300
B ₁	5.000 }		110.000	540.698	4,9154	1	1	2	1	18	1.980.000	9.732.564
B ₂	3.000 }	90.000	50.000	167.650	3,3530	2	2	4	2	30	1.500.000	5.029.500
B ₃	2.000 }		20.000	63.584	3,1792	3	3	6	3	45	900.000	2.861.280
C ₁	4.000 }		65.000	53.546	0,8237	1	3	7	9	37,5 (38)	2.437.500	2.007.975
C ₂	3.000 }	150.000	40.000	51.226	1,2806	2	1	8	7	50	2.000.000	2.561.300
C ₃	2.500 }		10.000	10.516	1,0516	3	2	9	8	60	600.000	630.960

132) Die Spalten 7-10 geben den Rang der Projekte nach dem Kapitalwert (K) und nach dem relativen Kapitalwert (L) an, und zwar zunächst innerhalb jeder Untergruppe (Spalte 7 und 8) und dann für die Gesamtheit der Projekte (Spalte 9 und 10).

133) Anschaffungsausgaben bei voller Ausnutzung der Marktkapazität durch Anschaffung jeweils eines Maschinentyps pro Abteilung.

134) Kapitalwert bei voller Ausnutzung der Marktkapazität durch Anschaffung jeweils eines Maschinentyps pro Abteilung.

Tabelle 7 zeigt in Spalte 1 die in Frage kommenden Projekte. Es handelt sich dabei um Projekte, die zum Teil miteinander um die Marktaufnahmefähigkeit konkurrieren, so beispielsweise A_1 gegen A_2 , aber nicht A_1 gegen B_1 . Auf A_1 , A_2 und A_3 soll das gleiche Produkt hergestellt werden, auf B_1 , B_2 und B_3 ein zweites Produkt und auf C_1 , C_2 und C_3 ein drittes Produkt. Alle Maschinen konkurrieren aber gegeneinander um den knappen Faktor Kapital. Die Anzahl der Maschinen, die im Höchstfall von jedem Typ angeschafft werden (Spalte 11), richtet sich nach der Maschinenkapazität (Spalte 2) und der möglichen Absatzmenge (Spalte 3). Ferner sind die Anschaffungsausgaben pro Maschine, die Kapitalwerte und die relativen Kapitalwerte (Kapitalwert dividiert durch Anschaffungsausgabe) aufgeführt (Spalten 4 bis 6).

Es soll nun geprüft werden, ob man mit Hilfe des "relativen Kapitalwertes" das optimale Programm findet. Die Rangfolge in Spalte 6 der Tabelle 7 gibt an, daß zunächst für Maschine B_1 so viel Kapital anzulegen ist, wie es die Absatzmenge erlaubt. Als nächstes kommt die Maschine A_2 in Frage, weil die Anschaffung der ranghöheren Maschinen B_2 und B_3 in Abteilung B entfällt. Im nächsten Schritt wird Maschine C_2 in das Programm aufgenommen, weil die ranghöheren Maschinen A_1 und A_3 durch die Anschaffung der Maschinen vom Typ A_2 nicht mehr gebraucht werden. Das in dieser Reihenfolge zusammengestellte Programm zeigt Tabelle 8.

T a b e l l e 8

Typ	Anzahl	Kapitalwert	Kapitalbedarf
B_1	18	9.732.564	1.980.000
A_2	12,5 (13)	2.497.650	910.000
C_2	50	2.561.300	2.000.000
		14.791.514	4.890.000

Beim Aufstellen des Programms der Tabelle 8 werden also nach und nach die Maschinen eingesetzt, die pro Einheit Kapitaleinsatz den höchsten Kapitalwert bringen. Das Budget läßt sich solange ausdehnen, bis die Kapazität des Maschinenparks die Marktaufnahmefähigkeit erreicht hat. Ist diese Grenze überschritten, dann hört das Kapital auf, Engpaß zu sein. Die Aufnahmefähigkeit des Marktes begrenzt dann die weiteren Aktionen. Man kann den Kapitalbetrag, bei dem dieser Wechsel eintritt, als die Knappheitsgrenze des Kapitals bezeichnen. Sie beläuft sich in unserem Beispiel auf 4.890.000 Geldeinheiten. Liegt das verfügbare Kapital unter dieser Grenze, so muß mit dem Kapital äußerst sparsam umgegangen werden. Jede Einheit eingesetztes Kapital muß so verwendet werden, daß sie den höchstmöglichen Kapitalwert bringt. Deshalb ist es richtig, die Rangfolge nach dem relativen Kapitalwert der einzelnen Anlagen vorzunehmen. Bei einer sukzessiven Ausdehnung des Budgets beginnend mit einer Geldeinheit bis zur Knappheitsgrenze des Kapitals wirft infolgedessen immer dasjenige Programm den höchsten Gesamtkapitalwert ab, das die Maschinen mit den höchsten relativen Kapitalwerten enthält. Der relative Kapitalwert der jeweils zuletzt in das Programm aufgenommenen Maschine ist allerdings kleiner als der relative Kapitalwert der bereits vorher in das Programm aufgenommenen Maschinen. Der durchschnittliche relative Kapitalwert des Programms sinkt also von Anfang an bei jedem Ausdehnungsschritt. Erreicht das Budget die Knappheitsgrenze, dann ist ^{es} wegen der begrenzten Aufnahmefähigkeit des Marktes nicht mehr möglich, durch die Aufnahme weiterer Maschinen in das Programm den Gesamtkapitalwert zu erhöhen. Das Budget hat den Betrag erreicht, bis zu dem volle Kapazitätsausnutzung aller Maschinen gewährleistet ist. Eine weitere Erhöhung des Gesamtkapitalwertes könnte nur noch dadurch erreicht werden, daß die bereits in das Programm aufgenommenen Maschinen gegen Maschinen ausgetauscht werden, die zwar absolut gesehen einen höheren Kapitalwert bringen, deren relativer Kapitalwert aber niedriger ist. Die ursprüngliche Rangfolge nach dem relativen Kapitalwert würde auf diese Weise offensichtlich wieder aufgehoben.

Unser Beispiel zeigt, daß sich sehr leicht ein besseres Programm als das der Tabelle 8 finden läßt, wenn das Budget um einen entsprechenden Betrag über die Knappheitsgrenze ausgedehnt wird. So läßt sich z.B. nach dem Kriterium des maximalen Kapitalwerts pro Abteilung (Spalte 7, Spalte 13) ein Programm finden, das bei einem Kapitaleinsatz von 4.980.000 Geldeinheiten einen höheren Gesamtkapitalwert erreicht, ohne die begrenzte Aufnahmefähigkeit des Marktes zu überschreiten. Es wird sogar im Gegenteil nur die Hälfte der maximalen Absatzmenge der Abteilung C bei diesem Programm produziert werden:

T a b e l l e 9

Typ	Anzahl	Kapitalwert	Kapitalbedarf
B ₁	18	9.732.564	1.980.000
A ₁	5	3.891.045	2.000.000
C ₂	25	1.280.650	1.000.000
		14.904.259	4.980.000

Wir stellen damit fest, daß die Auswahl der Projekte nach dem relativen Kapitalwert nur eine spezielle Methode ist: Sie gilt nur unter der Prämisse, daß das Kapital der ausschlaggebende Engpaß ist und damit der für Investitionszwecke verfügbare Fond unter der jeweiligen Knappheitsgrenze des Kapitals liegt¹³⁵⁾.

Wir wollen deshalb versuchen, eine allgemeine Lösungsmethode zu entwickeln. Oberstes Ziel ist die Maximierung des ab-

¹³⁵⁾ Käfer schreibt in diesem Zusammenhang, daß im Falle der Kapitalbegrenzung das Verhältnis von Kapitalwert zu Anlagekosten entscheidend sei. Unser Beispiel zeigt, daß die Begrenzung von ganz bestimmtem Ausmaß sein muß. Vgl. Käfer, Karl, Investitionsrechnungen, In: Die Unternehmung, 15. Jg. (1961), S. 129-146, hier S. 144.

soluten Kapitalwerts. Nebenbedingungen sind die Einhaltung der Liquiditätsgrenze und der durch den Markt festgelegten Kapazitätsgrenze. Würden genügend finanzielle Mittel zur Verfügung stehen, so ließe sich unter voller Ausnutzung der Aufnahmefähigkeit des Marktes das Programm der Tabelle 10 verwirklichen, wobei vom maximalen Kapitalwert je Abteilung auszugehen ist (Tabelle 7, Spalte 13).

T a b e l l e 10

Typ	Anzahl	Kapitalwert	Kapitalbedarf
A ₁	5	3.891.045	2.000.000
B ₁	18	9.732.564	1.980.000
C ₂	50	2.561.300	2.000.000
		16.184.909	5.980.000

Wir wollen dieses Programm als Ausgangsprogramm bezeichnen. Es werden lediglich die Begrenzungen, die sich aus der Aufnahmefähigkeit des Marktes ergeben, berücksichtigt.

Das Programm der Tabelle 10 ist nur dann optimal, wenn 5.980.000 Geldeinheiten zur Verfügung stehen. Liegt das Budget bei 5 Millionen (s. das Beispiel bei Albach), so muß eine Umstellung des Programms unter dem Gesichtspunkt des Austausches von Rentabilität gegen Liquidität erfolgen.

Nach welchen Gesichtspunkten soll diese Programmumstellung geschehen? Offenbar sind diejenigen Substitutionen vorzuziehen, die den Kapitalbedarf auf das gewünschte Maß herabsetzen, ohne den Kapitalwert mehr als notwendig zu vermindern. Tabelle 11 ist ein Versuch zur Auffindung der günstigsten Substitution, wobei allerdings zunächst unterstellt wird, daß 1. eine volle Ausnutzung der Marktaufnahmefähigkeit in allen Sparten (Abt. A, B und C stellen verschiedene Produkte her) auch bei Kapitalknappheit am vorteilhaftesten ist, und daß 2. die Substitution vollständig erfolgt, also

z.B. A_1 vollständig durch A_2 ersetzt wird.

Tabelle 11 zeigt die Kapitalwertänderungen und Kapitalbedarfsänderungen bei vollständigem Übergang von einem Maschinentyp auf den anderen innerhalb der Abteilungen A, B und C. So werden z.B. beim Übergang von A_1 auf A_2 1.125.000 Geldeinheiten an Kapitalbedarf eingespart, während dafür 1.393.395 Geldeinheiten an Kapitalwert geopfert werden. Man braucht dabei nur solche Substitutionen durchzurechnen, die aufgrund der Ausgangslage - des ohne Engpässe möglichen rentabelsten Programms der Tabelle 10 - überhaupt möglich sind.

T a b e l l e 11

Substitution	Veränderung des Kapitaleinsatzes	Veränderung des Kapitalwerts
$A_1 \longrightarrow A_2$	- 1.125.000	- 1.393.395
$A_2 \longrightarrow A_3$	- 250.000	- 1.481.350
$A_1 \longrightarrow A_3$	- 1.375.000	- 2.874.745
$B_1 \longrightarrow B_2$	- 480.000	- 4.703.064
$B_2 \longrightarrow B_3$	- 600.000	- 2.168.220
$B_1 \longrightarrow B_3$	- 1.080.000	- 6.871.284
$C_1 \longrightarrow C_2$	- 437.500	+ 553.325
$C_2 \longrightarrow C_3$	- 1.400.000	- 1.930.340
$C_1 \longrightarrow C_3$	- 1.837.500	- 1.377.015

Ein Austausch von A_2 gegen A_3 scheidet z.B. aus, weil im Ausgangsprogramm nur A_1 enthalten ist. Unter der Bedingung vollständiger Substitution ist es schwierig, das Programm so zu gestalten, daß es dem begrenzten Kapitalvorrat genau entspricht. Wenn das Kapitalbudget bei 5 Millionen liegt, dann sind gegenüber dem optimalen Programm von Tabelle 10 980.000 Geldeinheiten einzusparen. Durch Übergang von A_1 auf A_2 werden aber 1.125.000 Geldeinheiten ein-

gespart, so daß 145.000 Geldeinheiten ungenutzt bleiben. Ein Ausweg ergibt sich dann, wenn wir die Prämisse der vollständigen Substitution aufheben. Das ist durchaus realistisch, denn praktisch wird man immer nur soviel substituieren, wie die Liquiditätslage es erfordert; denn jede Substitution bedeutet eine Abweichung von der optimalen Ausgangslage und damit ein Verlust an Kapitalwert. Um die Wirkung dieser Substitution exakt erfassen zu können, errechnen wir als Kennziffer den Quotienten aus Kapitalwertänderung und Liquiditätsänderung. Bei einem Übergang von A_1 zu A_2 ist der Verlust an Kapitalwert 1.393.395; dadurch spart man 1.125.000 an liquiden Mitteln ein. Der Quotient beider Zahlen ist 1,238. Er stellt die Kapitalwertänderung pro Einheit "ingesparter Liquidität" dar. Die Liquidität ist gewissermaßen bewertet, sie kostet bestimmte Einheiten Kapitalwert. Bei Übergang von A_1 zu A_2 werden für jede Einheit ersparter Liquidität 1,238 Einheiten Kapitalwert geopfert. Tabelle 12 zeigt die Wirkung einer Liquiditätsänderung um eine Einheit. Danach bewirkt beim Übergang von A_3 auf A_1 eine Verminderung der Liquidität um eine Einheit eine Erhöhung des Kapitalwerts um + 2,093 Einheiten.

T a b e l l e 12:

Kapitalwertänderung pro Einheit Liquiditäts-
änderung ($\Delta K : \Delta L$)

Sub- stitution $\Delta K : \Delta L$	Sub- stitution $\Delta K : \Delta L$	Sub- stitution $\Delta K : \Delta L$
$A_1 \rightarrow A_2$ + 1,238	$B_1 \rightarrow B_2$ + 9,798	$C_1 \rightarrow C_2$ - 1,265
$A_2 \rightarrow A_3$ + 5,925	$B_2 \rightarrow B_3$ + 3,613	$C_2 \rightarrow C_3$ + 1,378
$A_1 \rightarrow A_3$ + 2,093	$B_1 \rightarrow B_3$ + 6,382	$C_1 \rightarrow C_3$ + 0,749

Geht man nach dieser "Freistabelle" vor, so unterstellt man allerdings beliebige Teilbarkeit der Anlagen. Man tauscht in unserem Beispiel die Anlage A_1 solange gegen A_2 aus, bis 980.000 gespart sind. Alle anderen Substitutionen sind, wie Tabelle 12 zeigt, teurer. Auch ein Verzicht auf die Ausnutzung der Marktaufnahmefähigkeit ist, wie Tabelle 7, Spalte 6, zeigt, teurer.

Es steht nunmehr fest, daß die Einsparung in Abt. A am günstigsten ist. Setzen wir den einzusparenden Betrag von dem Kapitalbedarf der Abteilung A in Tabelle 10 (=2.000.000) ab, so erhalten wir den Betrag, der auf die Typen A_1 und A_2 optimal zu verteilen ist (=1.020.000). Für diesen Betrag können entweder 2,55 Maschinen vom Typ A_1 oder 14,57 Maschinen vom Typ A_2 angeschafft werden. Die möglichen Kombinationen, die dazwischen liegen, zeigt die Gerade AB (Bilanzgerade) in Abb. 9.

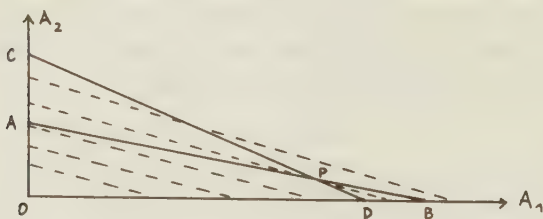


Abbildung 9

Allerdings ist es sinnlos, mehr als 12,5 Maschinen vom Typ A_2 anzuschaffen, weil dann die Aufnahmefähigkeit des Marktes überschritten wird (Gerade CD). Die parallelen Geraden (grün) zeigen die Linien gleichen Kapitalwertes. Punkt P repräsentiert die optimale Lösung, weil er auf der Linie mit dem höchsten Kapitalwert liegt, die unter Berücksichtigung der knappen Mittel und der Aufnahmefähigkeit des Marktes noch zu erreichen ist. Die zugehörigen Werte für A_1 und A_2 liegen bei 0,644 und 10,89. Die algebraische Lö-

sung geschieht hier durch zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten,

$$(1) \quad 400x_1 + 70x_2 = 1020$$

$$(2) \quad 20x_1 + 8x_2 = 100,$$

wobei die Gleichung (1) die Ausnützung des Budgets für Abteilung A, Gleichung (2) die Ausnutzung der Aufnahmefähigkeit des Marktes für das in Abt. A hergestellte Erzeugnis darstellt; x_1 und x_2 ist die gesuchte Anzahl der Maschinen A_1 und A_2 .

Das optimale Programm hat nach diesen Berechnungen folgendes Aussehen:

T a b e l l e 13

Typ	Anzahl	Kapitalwert	Kapitalbedarf
A_1	0,644	501.166	257.600
A_2	10,89	2.175.952	762.300
B_1	18	9.732.564	1.980.000
C_2	50	2.561.300	2.000.000
		14.970.982	4.999.900

Das Programm nutzt die vorhandenen Mittel voll aus und erzielt einen höheren Kapitalwert, als das nach dem Kriterium des maximalen Kapitalwerts ermittelte Programm der Tabelle 9. Eine Probe zeigt, daß der Kapitalwertverlust gegenüber dem Ausgangsprogramm 1.213.927 Einheiten beträgt. Auf die Einsparung von 980.000 Einheiten Kapitalbedarf bezogen ergibt sich der Substitutionspreis von 1,2387, den auch Tabelle 12 enthält.

Albach kommt bei der Lösung des Beispiels mit Hilfe des Linear Programming unter Anwendung der Simplex-Methode zum

selben Ergebnis¹³⁶⁾.

Das Ergebnis unseres Lösungsversuches ist unbefriedigend, weil für zwei Maschinentypen gebrochene Werte im optimalen Programm enthalten sind. Rundet man die Werte für A_1 und A_2 auf, so wird das Budget überzogen. Rundet man A_1 ab und A_2 auf, so liegt der Kapitalwert dieses Programms unter dem der Tabelle 9, wie Tabelle 14 zeigt.

T a b e l l e 14

Typ	Anzahl	Kapitalwert	Kapitalbedarf
A_2	13	2.497.650	910.000
B_1	18	9.732.564	1.980.000
C_2	50	2.561.300	2.000.000
		14.791.514	4.890.000

Das Programm nutzt zwar die Aufnahmefähigkeit des Marktes voll aus, jedoch bleibt ein Teil der liquiden Mittel ungenutzt. Das Programm der Tabelle 9 hingegen schöpft das Budget besser aus, läßt aber einen Teil der Marktnachfrage für Produkt C unbefriedigt. Da bei unserem Modell das Ziel der Unternehmung nicht darin besteht, die Nachfrage zu befriedigen, sondern einen maximalen Gewinn zu erzielen, muß das Programm der Tabelle 9 vorgezogen werden. Dort wurde das Kriterium des maximalen Kapitalwerts pro Abteilung zur Auswahl benutzt. Das läßt jedoch nicht den Schluß zu, man erhalte ein optimales ganzzahliges Programm nach diesem Kriterium.

136) Vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, S.104. Die kleinen Abweichungen, die sich dort bei der Anzahl von A_1 (0,67) und A_2 (10,82) ergeben, müssen auf Abrundungen oder kleinen Rechenfehlern beruhen, denn bei der Multiplikation der Maschinenanzahl mit dem Kapitalbedarf pro Maschine wird das Budget von 5 Millionen um 5.400 (= 1%) Geldeinheiten überzogen.

Es soll deshalb versucht werden, systematisch vom optimalen nichtganzzahligen Programm (Tabelle 13) aus das optimale ganzzahlige zu ermitteln.

Testet man das aus dem optimalen nichtganzzahligen Programm durch Abrundung ermittelte ganzzahlige Programm (Tabelle 14) daraufhin, was an Kapitalwert "geopfert" wird, um die erforderliche Einsparung von 980.000 zu erreichen, so ergibt sich ein "Substitutions-Preis" von 1,42142. Der in Tabelle 12 angegebene "Substitutionspreis" von 1,238 gilt nur bei vollständiger Substitution von A_1 gegen A_2 oder bei einer beliebigen Teilbarkeit der Anlagen. Wenn also wegen der begrenzten Teilbarkeit des Maschinenparks nur eine Substitution in Intervallen vorgenommen werden kann, so darf der sich hierbei ergebende Kapitalwertverlust lediglich der erforderlichen Einsparung, nicht der Einsparung, die durch die ganzzahlige Substitution ungewollt entsteht, gegenübergestellt werden. Bezogen auf unser Beispiel heißt das: Wenn 980.000 einzusparen sind und bedingt durch die Stückelung des Maschinenparks stattdessen 1.090.000, also 110.000 Einheiten zuviel eingespart werden müssen, so ist entscheidend, daß die notwendige Einsparung von 980.000 einen "Kapitalwertverlust" von 1.393.395 bewirkt. Pro Einheit erforderlicher Einsparung sind dann 1.42142 Kapitalwerteinbuße gezahlt worden.

Tabelle 12 läßt erkennen, daß es billigere nichtganzzahlige Substitutionsmöglichkeiten gibt, die auch möglicherweise unter der Ganzzahligkeitsbedingung billiger sind. Tabelle 12 enthält allerdings nicht alle Variationsmöglichkeiten, weil unterstellt wurde, daß die volle Nachfragebefriedigung zum Optimum führe. Es kann aber durchaus sein, daß ein Verzicht auf die Ausnutzung der Marktnachfrage und der damit zusammenhängende Verzicht, die maximale Maschinenzahl anzuschaffen, weniger Kapitalwerteinbuße bewirkt, als die Substitution. Der relative Kapitalwert der Tabelle 7 (Spalte 6) gibt hierüber Auskunft. Die Einsparung einer Einheit Liquidität kostet bei entsprechendem Teilverzicht auf C_2 1,2806 Einhei-

ten Kapitalwertminderung, infinitesimale Verzichtsmöglichkeit vorausgesetzt. Der Verzicht auf Maschine C_2 ist also billiger, als die ganzzahlige Substitution von A_1 gegen A_2 , die 1,42142 kostet. Es ist zu prüfen, ob er auch bei ganzzahligem Verzicht billiger ist.

Unterlassen wir also die vollständige Substitution von A_1 gegen A_2 , die sich unter der Ganzzahligkeitsbedingung als zu teuer erwiesen hat. Versuchen wir, die teilweise Substitution von A_1 gegen A_2 mit der zweitbilligsten Aktion, nämlich dem Verzicht auf C_2 zu verbinden. Die notwendige Einsparung von 980.000 Einheiten muß so auf die Substitution von A_1 gegen A_2 und den Verzicht auf C_2 verteilt werden, daß der Kapitalwertverlust am geringsten ist. Wir gehen deshalb wieder schrittweise von A_2 auf A_1 zurück. Den dadurch entstehenden Kapitalbedarf müssen wir durch Verzicht auf C_2 decken. Der kleinste mögliche Schritt von A_2 zurück nach A_1 ist die Anschaffung einer Maschine des Typs A_1 . Bei ihrer Kapazität von 20.000 Stück bleiben für A_2 noch 80.000 Einheiten übrig. Da A_2 eine Kapazität von 8.000 Einheiten hat, können 10 Maschinen davon angeschafft werden. Der Gesamtkapitalbedarf von Abteilung A steigt damit gegenüber der vollständigen Substitution von A_1 gegen A_2 um 190.000 Einheiten. Da aber bei dieser Aktion 110.000 zuviel Einheiten eingesparter Mittel vorhanden waren, beläuft sich der Kapitalfehlbetrag nur auf 80.000 Einheiten. Dieser Betrag kann durch Verzicht auf zwei Maschinen des Typs C_2 abgedeckt werden. Das optimale ganzzahlige Investitionsprogramm sieht demnach folgendermaßen aus:

T a b e l l e 15

Typ	Anzahl	Kapitalwert	Kapitalbedarf
A_1	1	778.209	400.000
A_2	10	1.998.120	700.000
B_1	18	9.732.564	1.980.000
C_2	48	2.458.848	1.920.000
		14.967.741	5.000.000

Aus dem Vergleich mit Tabelle 10 ergibt sich folgender Preis für die kombinierte Aktion, die sich aus der Teilsubstitution von A_1 gegen A_2 und dem Teilverzicht auf C_2 zusammensetzt:

$$\frac{16.184.909 - 14.967.741}{980.000} = 1,2420.$$

Die kombinierte Aktion ist damit immer noch billiger als die zweitgünstigste Aktion; der Verzicht auf C_2 kostet nämlich 1,2806 Einheiten Kapitalwert pro Einheit eingesparte Liquidität.

Zusammenfassung des Lösungsganges:

Bei der Ermittlung des optimalen ganzzahligen Investitionsprogramms unter der Bedingung eines begrenzten Budgets und einer begrenzten Aufnahmefähigkeit des Marktes ist zunächst das Programm mit dem höchsten Gesamtkapitalwert (Ausgangsprogramm) zu bestimmen. Hierbei wird nur die begrenzte Absatzmöglichkeit berücksichtigt. Es ergibt sich für dieses Programm ein bestimmter Kapitalbedarf. Liegt das Budget über diesem Bedarf, so ist das optimale Programm bereits gefunden. Gebrochene Werte bei der Anzahl der Maschinen können gerundet werden. Liegt das Budget unter dem Kapitalbedarf des Ausgangsprogramms, so zeigt die Differenz an, wieviel liquide Mittel eingespart werden müssen.

Zur Einsparung stehen zwei Wege offen: 1. Substitution von rentablen Maschinen gegen weniger rentable und dafür weniger Kapitaleinsatz erfordernde Maschinen. 2. Verzicht auf einen Teil der im Ausgangsprogramm enthaltenen Maschinen. Entscheidend dafür, welcher Weg eingeschlagen wird, ist die Einbuße an Kapitalwert, die die Einsparung an Mitteln bewirkt. Es ist auch möglich, beide Aktionsarten hintereinander abwechselnd durchzuführen, wenn entsprechend viele Mittel eingespart werden müssen.

Man beginnt mit derjenigen Aktion, die im Vergleich zur nötigen Einsparung die geringste Kapitalwerteinbuße erfordert. Der Indikator zur Auffindung der billigsten Substitution ist das Verhältnis von Kapitalwert-Einbuße und Einsparung an liquiden Mitteln bei vollständiger Substitution. Der Indikator zur Auffindung des billigsten Verzichts ist das Verhältnis von Kapitalwert zu Kapitaleinsatz (relativer Kapitalwert).

Begnügt man sich mit der Bestimmung des nicht ganzzahligen optimalen Programms, so führt man die billigste der Aktionen soweit durch, bis die erforderliche Einsparung erreicht ist. Reicht die billigste Aktion nicht aus, so geht man zur zweitbilligsten über usw.

Sucht man das ganzzahlige optimale Programm, so beginnt man ebenfalls mit der billigsten Aktion. Man muß aber testen, ob die ganzzahlige Substitution oder der ganzzahlige Verzicht nicht dazu führen, daß die Aktion teurer wird, als die verbleibenden möglichen Aktionen. Stellt man z.B. fest, daß durch die ganzzahlige Aktion die Einsparungen höher sind als erforderlich, so ist die zugehörige Kapitalwert-Einbuße zur gewünschten Einsparung in Beziehung zu setzen. Es ergibt sich ein Preis für die ganzzahlige Aktion. Liegt dieser immer noch unter den anderen möglichen Preisen für Substitution oder Verzicht, so besteht die Garantie, daß man das optimale ganzzahlige Programm gefunden hat. Liegt er über anderen Preisen für Substitution oder Verzicht, so muß eine Kombination mit der zweitbilligsten Aktion versucht werden. Gelingt keine Kombination, deren Preis unter der zweitbilligsten Aktion liegt, so muß man ganz auf die erste und billigste Aktion verzichten. Die Versuche müssen in gleicher Weise fortgeführt werden, bis eine Aktion gefunden wird, deren Preis unter der nächsten, nichtganzzahligen Substitution bzw. dem nächsten Verzicht liegt. In unserem Beispiel ist bei Nichtganzzahligkeit die Teilsubstitution A_1 gegen A_2 die billigste Aktion. Unter der Bedingung der Ganzzahligkeit ist jedoch die Kombination mit dem Verzicht auf

C₂ billiger, um zur erforderlichen Kapitalbedarfseinschränkung zu kommen.

Die Lösungsmethode ist trotz der verhältnismäßig einfachen Aufgabenstellung kompliziert. Es werden zwar traditionelle Techniken (Verhältniszahlen, Gleichungen) angewandt, die Art des Vorgehens (systematisches Probieren) ähnelt jedoch dem der typischen Lösungsmethoden des Linear-Programming. Es ist zu prüfen, ob bei mehreren Engpässen eine derartige Lösung noch durchführbar ist.

- (3) Das Programm unter Beachtung von mehr als zwei Engpässen (Beispiel III)

Als Beispiel wählen wir wieder eine Optimierungsaufgabe, die bereits mit Hilfe des Linear-Programming gelöst wurde¹³⁷⁾. Dadurch ergeben sich gute Kontrollmöglichkeiten. Geplant ist ein Ersatzprogramm, für das 6.000.- DM Kapital, 160 Arbeiter und 150 qm Raum zur Verfügung stehen. Es kommen drei Maschinentypen in Frage. Der Markt nimmt monatlich höchstens eine Produktion von 8.000 Stück des Produktes I und 12.000 Stück des Produktes II auf. Auf die Stunde umgerechnet nimmt der Markt eine Leistung von 40 Stück des Produktes I und 60 Stück des Produktes II auf. Es handelt sich um Kuppelproduktion. Tabelle 16 zeigt die Eigenschaften der Maschinentypen.

T a b e l l e 16

Masch. Typ	Bedarf an Prod.Fakt.			Produktion in		Kapitalwert	
	Arbei- ter je Maschine	Raum	Kapital	Stück je Std. Prod.I	Prod.II	absolut	relativ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	20	10	200	2	3	50	0,25
2	15	9	500	3	5	80	0,16
3	10	20	1.000	5	7	150	0,15

137) Vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, S. 121-123.

Die maximal mögliche Anzahl von Maschinen, die von jedem Typ angeschafft werden kann, wenn jeweils nur dieser eine Typ aufgenommen werden soll, richtet sich danach, welcher Engpaß jeweils zuerst erreicht wird. Bei Typ 1 und Typ 2 sind es die Arbeitskräfte, bei Typ 3 das Kapital (siehe Tabelle 17).

T a b e l l e 17

Typ	Primärer Engpaß	Maximale Maschinenzahl	Kapitalwert
1	Arbeiter	8	400
2	Arbeiter	10,66	852,8
3	Kapital	6	900

Ohne innerbetriebliche Engpässe und die Budgetbeschränkung würde das Programm aus 8 Maschinen des Typs 3 bestehen, denn die Marktnachfrage begrenzt die Stundenleistung auf 40 Stück von Produkt 1 und 60 Stück von Produkt 2. Tabelle 18 zeigt, daß dieses Programm verglichen mit den auf Typ 1 oder 2 aufbauenden Programmen den höchsten Kapitalwert abwirft.

T a b e l l e 18

Typ	Mögliche Anzahl bei Nachfragebefriedigung	Kapitalwert
1	20	1.000
2	13,33	1.066
3	8	1.200

Zur Realisierung des so bestimmten Ausgangsprogramms (8 Stück vom Typ 3) müssten 8.000.- DM Kapital, 80 Arbeiter und 160 qm Raum zur Verfügung stehen. Verglichen

mit den vorhandenen Engpässen sind 2.000.- DM Kapital und 10 qm Raum durch Substitution oder Verzicht einzusparen, während 80 zusätzliche Arbeiter eingesetzt werden können.

Nach unserer bisherigen Lösungsmethode wäre diejenige Einsparung durch Maschinenaustausch oder Verzicht vorzuziehen, die am billigsten (gemessen am Kapitalwertverlust) ist. Es fragt sich aber, ob mit der Raumeinsparung oder der Kapitaleinsparung begonnen werden soll und ob die Arbeitskräfte besser ausgenutzt werden können. Bei mehr als zwei Engpässen kann diese Frage nicht beantwortet werden. Außerdem ist es nicht möglich, die Einsparungsarten voneinander zu trennen, da sich z.B. bei einer Substitution zum Zwecke der Kapitaleinsparung zwangsläufig eine andere Raum- und Arbeitskräftebeanspruchung ergibt. Die Absatzsituation spielt als Engpaß in unserem Beispiel, wie aus Tabelle 17 zu ersehen ist, keine Rolle, da bei allen Typen die sonstigen Engpässe bereits wirksam werden, ehe die vollen Absatzmöglichkeiten erreicht sind.

Auch bei gründlicher Prüfung ergibt sich keine Möglichkeit, nach der hier entwickelten Methode das optimale nicht ganzzahlige Investitionsprogramm zu ermitteln. Man könnte sich zwar an eine gute Lösung heranarbeiten, hat jedoch nicht die Garantie, das Optimum erreicht zu haben. In diesem Falle kann die Lösung nur mit den Methoden der mathematischen Programmierung gefunden werden. Damit ist unter Beweis gestellt, daß eine Modellerweiterung in diesem Stadium nur mit Hilfe der Methoden der Operations Research möglich ist. Strebt man eine ganzzahlige Lösung an, so ist allerdings fraglich, ob man bei einfachen Beispielen nicht leichter zu einer Lösung kommt, ohne das optimale nichtganzzahlige Programm vorher zu ermitteln und auch ohne die Verfahren des Linear Programming zur Ermittlung von ganzzahligen Programmen an-

zuwenden¹³⁸⁾. Diese Frage soll anhand unseres Beispiels noch überprüft werden.

Durch die Ganzzahligkeitsbedingung wird die mögliche Zahl der Kombinationen erheblich reduziert. Bedingt durch die Engpässe ist die Zahl der einsetzbaren Maschinen pro Typ ohnehin begrenzt, wie sich aus Tabelle 17 ergibt. Es ergeben sich bei Berücksichtigung der Engpässe etwa vierzig relevante Kombinationsmöglichkeiten, die jedoch nicht alle durchgetestet werden müssen. Die meisten Kombinationen lassen auf den ersten Blick erkennen, daß sie ungünstiger sind, als die zulässige maximale Zahl des Maschinentyps mit dem höchsten Kapitalwert (Typ 3). Tabelle 17 zeigt, daß durch die Anschaffung von 6 Maschinen des Typs 3 insgesamt 900.- DM Kapitalwert zu erzielen sind. Jedes Programm, das weniger als 6 Maschinen des Typs 3 enthält und dafür nicht mindestens 3 Maschinen des Typs 1 oder 2 Maschinen des Typs 2 für jede Maschine von Typ 3, interessiert nicht, weil es einen geringeren Kapitalwert hat. Außerdem kann nach Tabelle 18 der Kapitalwert von 1.200.-- DM wegen der Engpässe nicht überschritten werden. Damit ist der Lösungsbereich schon weitgehend eingegrenzt.

Wir wollen nun versuchen, einen Lösungsgang zu entwickeln, bei dem das Aufsuchen des optimalen ganzzahligen Programms systematisch erfolgt. Dazu dienen uns einige Kennzahlen, die zum Ausdruck bringen, welcher Maschinentyp die jeweilige Engpaßeinheit bei extremer Knappheit am günstigsten (gewinnmaximal) ausnutzen würde. Für das Kapital als Engpaß haben wir bereits das Verhältnis von Kapitalwert zu Kapitaleinsatz (relativer Kapitalwert) kennengelernt. Für die Engpässe Raum und Arbeitskräfte können wir ebenfalls rela-

138) Zur Durchführung und Kompliziertheit dieser Verfahren vgl. Albach, Horst, Lineare Programmierung als Hilfsmittel betrieblicher Investitionsplanung, In: ZfhF, NF, 12. Jg. (1960), S. 526-549, bes. S. 549 und Krelle, Wilhelm, Ganzzahlige Programmierungen. Theorie und Anwendungen in der Praxis, Unternehmensforschung 1956, S. 161 ff.

tive Kapitalwerte, diesmal aber auf Raumeinheiten und Arbeiter bezogen, ansetzen. Tabelle 19 zeigt die Verhältniszahlen (errechnet aus Tabelle 16).

T a b e l l e 19

Ma- schinen- Typ	K a p i t a l w e r t		
	DM Kapitaleinsatz	in Anspruch ge- nommenem Arbei- ter	je qm in Anspruch genommenem Raum
1	0,25	2,50	5,0
2	0,16	5,33	8,88
3	0,15	15,00	7,50

Der Grundgedanke bei Benutzung dieser Kennzahlen ist folgender:

Die Produktionsfaktoren, soweit sie in einem Programm zum Engpaß werden, sind knapp. Es ist dann günstiger, bei dem betreffenden Engpaßfaktor statt des absoluten Kapitalwertes das Verhältnis von Kapitalwert zu Engpaßeinheit zu verbessern.

Lösungsgang:

1. Aufsuchen des gewinnmaximalen Programms unter der Annahme, daß keine innerbetrieblichen Engpässe vorhanden sind. Dieses Programm geht aus Tabelle 18 hervor. Es enthält zwangsläufig nur einen Maschinentyp, es sei denn, der pro Maschinentyp erreichbare maximale Gesamtkapitalwert sei bei mehreren Typen gleich (Programm I in Tabelle 20).
2. Einregulierung des Ausgangsprogramms auf den engsten der vorhandenen Engpässe (Programm II). Prüfung, ob der Maschinentyp, der durch Schritt 1 gefunden wird, auch bei

Berücksichtigung der Engpässe den höchsten Kapitalwert bringt (Tabelle 17).

3. Substitution von Maschinen des Ausgangstyps gegen den Maschinentyp, bei dem anhand der Kennziffern von Tabelle 19 pro Engpaßeinheit die meisten Kapitalwerteinheiten anfallen. Das ist im Beispiel für den Engpaß Kapital der Typ 1; bei ihm erbringt eine Einheit Kapitaleinsatz den höchsten Kapitalwert (0,25). Im Hinblick auf den Kapitalbedarf je Maschine kann man für eine Maschine des Typs 3 fünf Maschinen des Typs 1 anschaffen. Diese Substitution wird solange fortgesetzt, bis der zweite Engpaß wirksam wird. Auf diese Weise entsteht Programm III.
4. Substitution der im Programm vorhandenen Maschinen gegen solche, die noch nicht im Programm enthalten sind und anhand der Kennzahlen eine Verbesserung bringen können.

Diese Kombinationsversuche werden abgebrochen, falls der Gesamtkapitalwert des Programms sich offensichtlich nicht mehr erhöhen läßt und keine Verbesserungen mehr möglich sind. Nähere Erläuterungen zeigt unser Beispiel.

T a b e l l e 20

Pro- gramm	Typ	An- zahl	Arbei- ter	Raum	Kapital- einsatz	Kapital- wert	Anmerkungen
0	1	2	3	4	5	6	7
0	-	-	160	150	6.000	-	-
I	3	8	80	160	8.000	1.200	
II	3	6	60	120	6.000	900	zulässig!
III	3	5	50	100	5.000	750	
	1	5	100	50	1.000	250	
			150	150	6.000	1.000	zulässig! optimal
IV	1	5	100	50	1.000	250	
	3	4	40	80	4.000	600	
	2	2	30	18	1.000	160	
			170	148	6.000	1.010	unzulässig
V	1	4	80	40	800	200	
	3	4	40	80	4.000	600	zulässig,
	2	2	30	18	1.000	160	aber un-
			150	138	5.800	960	günstiger als III!

Zeile 0 der Tabelle 20 enthält die zur Verfügung stehenden Produktionsfaktoren. Zeile I enthält das Programm, das ohne innerbetriebliche Engpässe realisiert werden könnte.

Der Kapitalwert des Programms I kann nicht erreicht, also auch nicht überschritten werden. In Zeile II wurde die Maschinenzahl des Programms I soweit reduziert, bis alle Engpaß-Bedingungen erfüllt sind. Falls ein anderer Maschinentyp bei Berücksichtigung "seines" Engpasses (bei Typ 1 und 2 sind es die Arbeiter) einen höheren Kapitalwert erbringt, als der Typ des Ausgangsprogramms I, so ist der Ausgangstyp durch diesen zu ersetzen. Tabelle 17 zeigt, daß es in unserem Beispiel bei Typ 3 bleibt. Der Engpaß, der zuerst erreicht wird, ist das Kapital. Man muß deshalb prü-

fen, ob Typ 3 teilweise durch einen Typ ersetzt werden kann, der einen höheren Kapitalwert je DM Kapitaleinsatz hat. Laut Tabelle 19 gilt das für Typ 1. Für eine Maschine von Typ 3 können 5 Maschinen von Typ 1 angeschafft werden, ohne einen Engpaß zu überschreiten. Die Substitution lohnt sich, weil einem Kapitalwertverlust von 150 ein Kapitalwertzuwachs von 250 gegenübersteht. Der weitere Austausch einer Maschine Typ 3 gegen 5 Stück von Typ 1 scheitert am Engpaß "Arbeiter".

Das Programm III ist zulässig, günstiger als II und lastet bereits zwei Engpässe voll aus. Tabelle 19 zeigt jedoch, daß Typ 2 gegenüber Typ 3 sowohl von der Raumausnutzung als auch der Kapitalausnutzung her günstiger ist. Ein Versuch, Typ 3 gegen Typ 2 zu ersetzen, scheitert jedoch, wie Zeile IV zeigt, am Engpaß "Arbeiter". Aus den freien Arbeitskräften und durch Freisetzung mittels Austausch können nicht soviel Arbeitskräfte gewonnen werden, wie der Einsatz von zwei Maschinen des Typs 2 erfordert. Zwei Maschinen dieses Typs sind aber erforderlich, um den Kapitalwert zu erhöhen. Der Versuch, die fehlenden 10 Arbeiter durch Verzicht auf eine Maschine des Typs 1 zu beschaffen (Prog. V), bewirkt aber einen Kapitalwertabfall von 50.- DM bei Typ 1, so daß der Kapitalwert von Programm V um 40.- DM unter dem von Programm III liegt. Programm IV ist damit zwar zulässig, aber nicht optimal.

Durch diese Versuche ist hinreichend gewährleistet, daß das Programm III das Optimalprogramm darstellt. Beachtet man nämlich, daß jeder Verzicht auf eine Maschine Typ 3 mindestens 150 Kapitalwert einbringen muß und daß dazu 3 Maschinen Typ 1 oder 2 Maschinen Typ 2 erforderlich sind, so wird wegen der Engpässe klar, daß keine Verbesserungsmöglichkeit mehr gegeben ist. Tauchen weitere Engpässe auf und erhöht sich die Typenzahl der Maschinen, so wird die Rechnung sehr unübersichtlich. Allerdings besteht die Möglichkeit, daß einige Engpässe aus der Betrachtung ausscheiden, weil andere vorgelagert sind. Das zeigt sich in unserem

Beispiel an der Absatzmenge, deren Begrenzung wegen der anderen, vorgelagerten Engpässe unberücksichtigt bleiben kann. Es würde sich dann zeigen, ob derartige Lösungswege einfacher sind als die sicheren, aber äußerst komplizierten Methoden der ganzzahligen Linearen Programmierung. Albach errechnet mit Hilfe der nichtganzzahligen Linearen Programmierung für das obige Beispiel folgendes optimale Programm¹³⁹⁾:

5,128	Maschinen vom Typ	1
0,767	"	" " 2
4,592	"	" " 3

Der Vergleich mit unserer durch Probieren gefundenen ganzzahligen Lösung (Programm III der Tabelle 20) zeigt deutlich, daß man durch Auf- und Abrunden nur zufällig das optimale ganzzahlige Programm findet. Man ist gezwungen, in ähnlicher Weise, wie bei unseren Lösungsversuchen, verschiedene Möglichkeiten auszuprobieren.

- (4) Das Programm unter Beachtung mehrerer Engpässe und der Einbeziehung von Ersatzüberlegungen (Beispiel IV)

Die vorangegangenen Beispiele enthielten zwar mehrere Engpässe, es wurde aber immer davon ausgegangen, daß es sich bei den durchzuführenden Projekten ausschließlich um Neuinvestitionen handelt. Im folgenden Beispiel sollen auch Ersatzinvestitionen in die Planung einbezogen werden. Man steht bei diesen Investitionen vor der Wahl, die bereits vorhandenen Anlagen weiter zu benutzen oder durch neue Anlagen zu ersetzen. Deshalb müssen sowohl die alten als auch die neuen Anlagen als sich gegenseitig ausschließende Vorhaben in den Programmansatz aufgenommen werden.

Ein entsprechendes Beispiel wurde durch Albach in nicht-ganzzahliger Form mit Hilfe der Linearen Planungsrechnung

¹³⁹⁾ Vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, S. 122.

gelöst¹⁴⁰⁾. Unser Beispiel weicht allerdings von dem Albachs insofern ab, als dieser vom nichtganzzahligen Ergebnis des vorstehend behandelten Beispiels III ausgeht, während wir auf unserer ganzzahligen Lösung dieses Beispiels aufbauen.

Die Unternehmung, welche nach Beispiel III 5 Maschinen des Typs 3 und 5 Maschinen des Typs 1 anschaffte, hat nach einigen Jahren die Frage zu lösen, ob sie die Maschinen weiter verwenden oder durch neue des gleichen Typs ersetzen soll. Außerdem ist inzwischen auf dem Markt eine Neukonstruktion erschienen, die sich durch andere Engpaßbeanspruchung von den bisherigen Typen unterscheidet. Tabelle 21 enthält die Daten der Investitionsmöglichkeiten. Die Engpässe Arbeit, Raum und Absatz bleiben unverändert, für die mögliche Ersatzbeschaffung stehen 2.000.- DM zur Verfügung.

T a b e l l e 21

Typ	Bedarf an Produktionsfaktoren					Kapitalwert
	Arbeiter Zahl	Raum qm	Kapital DM	Produktion in Stück je Maschi- nen-Stunde		
				I	II	
1	20	10	-	2	3	20
3	10	20	-	5	7	60
4	20	10	100	2	3	50
5	15	9	250	3	5	80
6	10	20	500	5	7	150
7	8	20	1.200	6	8	200

Ständen die Produktionsfaktoren, die neuen Mittel von DM 2.000.- und die mögliche Absatzmenge jeweils einem Maschinentyp gegenüber, so könnten höchstens die folgenden Anzahlen der einzelnen Typen alternativ angeschafft werden:

¹⁴⁰⁾ Vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, S. 123-127.

T a b e l l e 22

Typ	Anzahl	Engpaß	Kapitalwert
1	5	bish. Programm	100
3	5	" "	300
4	8	Arbeiter	400
5	8	Kapital	640
6	4	Kapital	600
7	1	Kapital	200

Wir wählen nach unserem bisherigen Lösungsverfahren den Maschinentyp, der bei Berücksichtigung der Engpaßfaktoren den höchsten Kapitalwert bringt (= Schritt 2 des Lösungsgangs). Schritt 1 erweist sich hier als überflüssig, weil der maximale Kapitalwert, der ohne Beachtung der innerbetrieblichen Engpässe erreicht werden könnte, im vorliegenden Falle bei weitem nicht erzielbar ist und infolgedessen auch kaum zur Orientierung dient.

Bevor wir das Ausgangsprogramm ermitteln, müssen die relativen Kapitalwerte, die zur Steuerung des Projektauslese dienen, errechnet werden:

T a b e l l e 23

Typ	Kapitalwert pro eingesetzte Arbeitskraft	Rang	Kapitalwert pro qm bean- spruchter Raum	Rang	Kapitalwert pro DM Kapi- taleinsatz	Rang
1	1	6	2	6		1/2
3	6	4	3	5		1/2
4	2,5	5	5	4	0,50	3
5	5,3	3	8,88	2	0,32	4
6	15	2	7,50	3	0,30	5
7	25	1	10	1	0,166	6

Tabelle 23 zeigt, daß das neue Verfahren (Typ 7) äußerst arbeitssparend, dafür aber entsprechend kapitalintensiv ist. Das Ausgangsprogramm setzt sich aus den Typen 3 und 5 zusammen. Typ 5 bringt nämlich den höchsten absoluten Kapitalwert laut Tabelle 22. Das vorhandene Kapital wird bei seiner Anschaffung voll ausgenutzt. Typ 3 erfordert, da bereits im Betrieb vorhanden, keinen Kapitaleinsatz und kann deshalb zusätzlich mit entsprechenden Stückzahlen in das Programm aufgenommen werden, bis der nächste Engpaß (der Absatz bei Produkt 2) erreicht ist.

Programm I erweist sich nach einigen Kombinationsversuchen als nicht optimal. Es zeigt sich nämlich, daß eine geschickte Kombination von Teilsubstitutionen zu einem Programm mit höherem Kapitalwert führt (Programm IV). Man erreicht dieses Programm, indem man abwechselnd versucht, die verschiedenen Engpässe möglichst gut auszunutzen. In Programm II wird der Engpaß Kapital und der Engpaß Absatz berührt, in Programm III der Engpaß Raum.

In Programm IV wird zwar kein Engpaßfaktor voll ausgenutzt, sie werden aber alle gleichzeitig nahezu vollständig beansprucht. Die Suche nach diesem Programm wird durch die Kennzahlen der Tabellen 21 und 23 erleichtert. Das beschriebene Verfahren stellt keine exakte, zwangsläufig zum optimalen Programm führende Methode dar. Es ist vielmehr ein Probiervorgang, bei dem Orientierungshilfen in Form der Kennzahlen gegeben sind.

T a b e l l e 24

Pro- gramm	Typ	An- zahl	Arbei- ter	Raum	Kapital	Absatz Produkt 1 2		Kapital- wert
0	-	-	160	150	2.000	40	60	-
I	5	8	120	72	2.000	24	40	640
II	5	8	120	72	2.000	24	40	640
	3	3	30	60	-	15	21	180
			150	132	2.000	39	61	820
III	3	3	30	60	-	15	21	180
	5	6	90	54	1.500	18	30	480
	4	2	40	20	200	4	6	100
			160	134	1.700	37	57	760
IV	3	3	30	60	-	15	21	180
	4	2	40	20	200	4	6	100
	5	5	75	45	1.250	15	25	400
	6	1	10	20	500	5	7	150
			155	145	1.950	39	59	830

Zur Erhöhung der Sicherheit, daß keine bessere ganzzahlige Kombination mehr erreichbar ist, kann man den Kapitalwert von Programmen, die man auf den ersten Blick für zulässig hält, errechnen. Dabei zeigt sich in den meisten Fällen, daß diese ungünstiger als das für optimal gehaltene Programm sind.

- (5) Das Programm unter Beachtung mehrerer Engpässe und der Liquidität der Folgeperioden (Beispiel V)

In dem folgenden Beispiel, das von Albach stammt und das er mit Hilfe der Linearen Programmierung gelöst hat, werden die

Rückflüsse der nächsten drei Jahre in das Modell einbezogen¹⁴¹⁾. Es soll untersucht werden, ob man auch mit traditionellen Methoden eine optimale ganzzahlige Lösung finden kann. Das Beispiel stellt eine Erweiterung der Modelle mit starrem Kapitalangebot (Kapitalrationierung) dar. Bisher war nur die Liquidität im Zeitpunkt der Entscheidung zu beachten, die durch das gegebene Budget bestimmt wurde. Jetzt hat das Programm aber noch die Bedingung zu erfüllen, daß die Liquidität auch in den Folgeperioden aufrechterhalten bleibt.

Im Beispiel stehen drei Maschinentypen zur Wahl, von denen die zweite außer einer Anschaffungsausgabe in der ersten Periode noch einen Ausgabenüberschuß in der zweiten Periode verursacht. Die übrigen Daten sind dergestalt, daß dieser Ausgabenüberschuß nur durch Einnahmeüberschüsse der anderen Typen ausgeglichen werden kann. Es ist deshalb von vornherein ausgeschlossen, daß nur Typ 2 alleine angeschafft wird.

Zur Durchführung des Programms steht ein Budget von 3.000.- DM zur Verfügung. Der Absatz des mit allen Maschinen herstellbaren Produkts kann 40.000 Einheiten pro Periode nicht übersteigen.

Für die Maschinentypen sind folgende Daten angegeben:

T a b e l l e 25							
Typ	Anschaffg. Kosten	Kapitalwert	Überschüsse in Periode		Kapazität in Periode		
			2	3	1	2	3
1	250	206	80	60	5.000	4.500	4.000
2	500	302,9	20	150	7.000	7.000	7.000
3	1.200	419	100	80	8.000	7.000	6.000

¹⁴¹⁾ Vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, S. 137-143.

Unter Berücksichtigung aller Engpässe könnten alternativ von den einzelnen Maschinentypen folgende Stückzahlen angeschafft werden.

T a b e l l e 26

Typ	Anzahl	Kapitalwert	Engpaß
1	8	1.648	Absatz 1. Periode
2	0	0	Finanzdefizit 2.Periode
3	2	838	Kapital

Es leuchtet ein, daß diese Tabelle als einziges Hilfsmittel ungeeignet ist, weil für den Typ 2 sofort Beschaffungsmöglichkeiten vorliegen, wenn nur eine einzige Maschine eines anderen Typs im Programm erscheint. Es ist deshalb sinnvoll, zunächst zu prüfen, ob eine Kombination von Typ 2 mit Typ 1 oder mit Typ 3 einen höheren Kapitalwert bringt als die Anschaffung von 8 Maschinen des Typs 1.

T a b e l l e 27

Kombination	Typ	Anzahl	Kapitalwert	nächster Engpaß
I	1	1	206	
	2	4	1.211,6	Finanzdefizit
			1.417,6	
II	1	2	412	
	2	4	1.211,6	Nachfrage(bereits überschritten)
			1.623,6	
III	3	1	412	
	2	3	908,7	Kapital
	1	1	206	
			1.533,7	

Kombination II scheidet aus, weil die Nachfrage nicht ausreicht; die Kombinationen I und III, die ebenfalls Maschinen vom Typ 2 enthalten, bei denen aber das Finanzdefizit als Engpaß für Maschine 2 ausgeglichen ist, sind durchführbar, weil bei ihnen Nachfrage und Kapital ausreichen. Ihr Kapitalwert ist aber geringer als der eines Programms, das nur 8 Maschinen des Typs 1 umfaßt. Damit ist dieses Programm als Ausgangsprogramm festgelegt.

Das optimale Programm suchen wir wieder mit Hilfe unserer Kennzahlen (Tabelle 28), wobei zum erstenmal die Relation Kapitalwert zu Stückzahl auftritt. Sie gibt an, bei welcher Maschinentype die Herstellung einer Einheit des Produkts den höchsten Kapitalwert erbringt.

T a b e l l e 28

Typ	Kapitalwert Stückzahl	Kapitalwert Kapitaleinsatz
1	0,0412	0,824
2	0,0432	0,6058
3	0,0523	0,349

Tabelle 29 zeigt das Ausgangsprogramm und die Kombinationsversuche, wobei der jeweilige Engpaß den Ausschlag gibt, welche Type in das Programm aufzunehmen ist. Das Programm I stößt zuerst an den Engpaß Absatz. Da Typ 3 laut Tabelle 28 die Absatzeinheit besser honoriert, wird Typ 1 peripher gegen Typ 3 ausgetauscht. Das Programm II bedeutet eine Verbesserung. Die Engpässe sind jedoch nicht voll ausgenutzt. Die Maßnahme geht über das Ziel hinaus. Es empfiehlt sich daher, Typ 1 gegen Typ 2 auszutauschen, weil gegenüber Typ 1 der Absatzengpaß sparsamer beansprucht wird, mit Kapital jedoch nicht so sehr gespart wird.

Die Kapazität von Typ 2 ist allerdings dergestalt, daß 3 Maschinen von Typ 1 gegen 2 Maschinen von Typ 2 getauscht werden müssen. Das Programm ergibt eine Verschlechterung und setzt das vorhandene Kapital nur zum Teil ein. Deshalb wird, ausgehend von Programm II, eine Kombination versucht, bei der Typ 1 gegen Typ 2 peripher ausgetauscht wird, um eine bessere Engpaßnutzung zu erreichen. Dieses Programm IV bringt einen erheblich höheren Kapitalwert als Programm II. Da die Engpässe nahezu voll ausgenutzt sind, können die Versuche abgebrochen werden.

T a b e l l e 29

Pro- gramm	Typ	Anzahl	Kapital- wert	Kapazität	Kapitaleinsatz
I	1	8	1.648	40.000	2.000
II	1	6	1.236	30.000	1.500
	3	1	419	8.000	1.200
			1.655	38.000	2.700
III	1	5	1.030	25.000	1.250
	2	2	604	14.000	1.000
			1.634	39.000	2.250
IV	1	5	1.030	25.000	1.250
	2	1	302,9	7.000	500
<u>Optimum</u>	3	1	419	8.000	1.200
			1.751,9	40.000	2.950

Sicherheit darüber, ob das optimale ganzzahlige Programm gefunden ist, besteht nicht in vollem Umfange. Es ist jedoch zu vermuten, daß der Kapitalwert des Optimumszumindest nicht wesentlich von dem des gefundenen Programms abweicht. Man kann die Sicherheit durch einfache Tests erhöhen, indem man die Kapitalwerte der für möglich gehaltenen weiteren Lö-

sungen überschlägig mit dem vorläufigen Optimum (Programm IV) vergleicht.

Vom Standpunkt der exakten Modellerweiterung ist der vorgeschlagene Lösungsweg abzulehnen, weil er kaum noch als systematischer Probiervorgang bezeichnet werden kann. Es ist kein Kriterium vorhanden, das anzeigt, wann das Optimum erreicht ist. Für die praktische Anwendung mag der Lösungsweg eine gewisse Bedeutung erlangen, denn die exakte Ermittlung des ganzzahligen Optimums bedarf der bis jetzt noch aufwendigen ganzzahligen Programmierungsmethode. Mit der Ermittlung des nichtganzzahligen Optimums kann man sich nicht begnügen, denn eine notwendige Rundung führt möglicherweise zu einem Ergebnis, das weit vom Optimum entfernt sein kann.

cc) Beurteilung der Lösungsversuche

Die Lösungsversuche haben bewiesen, daß es in einfachen Beispielen noch möglich ist, mit traditionellen Hilfsmitteln eine Modellerweiterung zu erreichen. Die Ergebnisse sind jedoch auf zweierlei Weise unbefriedigend:

- (1) Man kann sich zwar in den einzelnen Fällen gleicher Lösungsprinzipien bedienen. Jedoch sind diese im unterschiedlichen Ausmaß brauchbar. Bei Ausweitung der Modelle auf mehrere Engpässe und bei Einbeziehung von Rückflußanlagen (siehe Beispiel V) ist nur noch eine Annäherung an das Optimum und keine sichere Ermittlung mehr gewährleistet.
- (2) Eine für alle wichtigen Fälle einheitliche Lösungsmethode konnte nicht gefunden werden. Gerade das wird aber bei der Entwicklung von Investitionsmodellen angestrebt.

Andererseits zeigen die Versuche deutlich, inwieweit die Struktur eines Investitionsprogramms vom Budgetumfang, d. h. vom Finanzierungsprogramm, bestimmt wird. Mit dieser Erkenntnis ist jedoch nicht viel erreicht. Jeder Engpaß wirkt auf die Programmstruktur. Außerdem müssen die Modelle ganzzahlige Lösungen liefern, weil nichtganzzahlige Programme undurchführbar sind und keinen unmittelbaren Schluß auf die ganzzahligen Optimalprogramme zulassen. Die Einführung der Ganzzahligkeitsbedingung ändert abermals, wie die Versuche zeigen, die Programmstruktur. Es kann daher erst dann von einer befriedigenden Modellerweiterung gesprochen werden, wenn ganzzahlige Lösungsmethoden (in manchen Fällen gemischt ganzzahlige Methoden) zur Anwendung kommen. Modelle mit nichtganzzahligen Ergebnissen haben nur begrenzten Erklärungswert und sind zur Anwendung ungeeignet.

- c) Das optimale Investitionsprogramm bei Kapitalangebot zu unterschiedlichen Zinssätzen

Die Unternehmung steht bei Investitionsüberlegungen häufig vor der Frage, ob sie Investitionen durch zusätzliche Kapitalbeschaffung ermöglichen und wie weit sie das Investitionsprogramm ausdehnen soll. Entscheidend für den Umfang des Programms sind einerseits die Kapitalwerte der Investitionsvorhaben, andererseits die Kosten der Finanzierung. Treten weitere Engpässe hinzu, und beanspruchen die einzelnen Investitionsvorhaben die Engpässe in unterschiedlichem Maße, so besteht die Aufgabe des Unternehmers darin, die Programmkombination mit dem höchsten Kapitalwert herauszufinden, gleichzeitig aber die gegebenen Einschränkungen zu berücksichtigen. In einfachen Fällen kann man das optimale Programm auch mit traditionellen Mitteln herausfinden.

Nimmt man beispielsweise an, daß einer Reihe von verschiedenartigen Investitionsvorhaben mit ihren Kapitalwerten eine Reihe von Finanzierungsmöglichkeiten mit ihren diskontierten Kosten gegenübersteht, so dehnt man das Investitionsprogramm soweit aus, bis der Zuwachs an Kapitalwert

und der Zuwachs an diskontierten Kapitalkosten gleich sind, d.h. keine Kapitalwerterhöhung mehr möglich ist¹⁴²⁾. Das setzt aber vollkommene Teilbarkeit der Anlagen und der Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten sowie das Fehlen sonstiger Engpässe und einschränkender Bedingungen voraus.

Wenn dagegen Nachfragebeschränkungen für die hergestellten Produkte und betriebliche Engpässe vorliegen, außerdem die einzelnen Vorhaben unteilbar sind, so ist die Lösung durch eine Gegenüberstellung der Kapitalwerte und diskontierten Kapitalkosten kaum noch möglich. Sie erfordert die Bestimmung mehrerer optimaler Programme, weil jedem Finanzierungsprogramm ein optimales Investitionsprogramm (mit jeweils anderer Struktur) zugeordnet werden muß. Die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Schwierigkeiten für das Modell mit starrem Kapitalangebot treten hier mehrfach auf, denn das Modell mit variablem Kapitalangebot stellt eine Folge von unendlich vielen Modellen mit jeweils starrem Budget dar, wobei das Budget jeweils um eine infinitesimal kleine Einheit ausgedehnt wird. Man könnte sich allerdings bei der praktischen Durchführung damit begnügen, das Programm für größere Budgetintervalle zu bestimmen. Die in den Beispielen aufgeführten Rechnungen müßten dann für jedes Intervall durchgeführt werden. An der Art der Rechnung ändert sich nichts. Auf die Beschreibung von Methoden zur Ermittlung des optimalen Investitionsprogramms bei variierendem Kapitalangebot mit Hilfe traditioneller Mittel kann deshalb verzichtet werden. Es liegt auf der Hand, daß derartige Methoden nur für sehr einfache Fälle angewandt werden können.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß entsprechende Überlegungen nicht nur für das Kapitalangebot, sondern auch für andere Engpässe gelten. Beispielsweise kann der Engpaß "Ar-

142) Vgl. hierzu die Ausführungen zur Cut-off-Rate von Dean, Joel, Capital Budgeting, S. 63.

beitskräfte" dem Engpaß Kapital vorgelagert sein. Die zusätzliche Einstellung von Arbeitskräften zu wachsenden Kosten ist in diesem Falle mit dem dadurch bedingten Kapitalwertzuwachs zu vergleichen.

2. Die Bestimmung des optimalen Investitionsprogramms nach der Internen Zinsfuß-Methode

a) Das optimale Investitionsprogramm bei unbegrenztem Kapitalangebot zum einheitlichen Zinssatz

Wir haben bereits angeführt, welche Situation der Fall des unbegrenzten Kapitalangebots zum einheitlichen Zinssatz beschreibt¹⁴³⁾. Jeder beliebige Betrag kann bei dieser Konstellation zu einem festen Zinssatz beschafft und angelegt werden. Das optimale Investitionsprogramm läßt sich in dieser Situation dadurch bestimmen, daß sämtliche Vorhaben realisiert werden, deren interner Zinsfuß über dem Marktzinssatz liegt. Dieses Programm bringt den höchsten Gesamtgewinn.

Solange keine Vorhaben existieren, die sich gegenseitig ausschließen, führt dieses Kriterium unmittelbar zum Optimum. Im Regelfall sind aber die betrieblichen Anlagemöglichkeiten begrenzt, und einige Vorhaben schließen sich gegenseitig aus. Eine Aussonderung unter den sich ausschließenden Vorhaben nach den internen Zinsfüßen der Einzelobjekte führt, wie noch zu zeigen ist, nicht zum höchsten Gewinn des Gesamtprogramms¹⁴⁴⁾.

143) Vgl. unsere Ausführungen S. 147.

144) Vgl. hierzu auch Swoboda, Peter, Die betriebliche Anpassung als Problem des betrieblichen Rechnungswesens. Wiesbaden 1964, S. 151 und 152. Swoboda zeigt, daß eine Rechnung nach den internen Zinsfüßen nicht zum höchsten Gewinn führt. Sein Vorschlag, Zinskosten in die Berechnung der Alternativen einzusetzen, unterstellt allerdings eine Zuordnung der Finanzierungsarten zu den Projekten.

T A B E L L E 30

0	1	2	3	4	5	6	7	8
			Mögliche Absatzmenge	Kapital-Einsatz pro Maschine	Interner Zinsfuß pro Maschine	Maximale Maschinen-zahl 145) (3 : 2)	Kapitalein-satz pro Ab-teilung 146) (6 x 4)	Zinsertrag 147) (5 x 7)
Abt.	Projekt	Kapazität						
	A ₁	20.000	}	400.000	41 %	5	2.000.000	820.000
	A ₂	8.000	}	70.000	68 %	12,5	875.000	595.000
	A ₃	8.000	)	50.000	80 %	12,5	625.000	500.000
	B ₁	5.000	}	110.000	86 %	18	1.980.000	1.702.800
	B ₂	3.000	}	50.000	88 %	30	1.500.000	1.320.000
	B ₃	2.000	)	20.000	96 %	45	900.000	864.000
	C ₁	4.000	}	65.000	26 %	37,5	2.437.500	633.750
	C ₂	3.000	}	40.000	43 %	50	2.000.000	860.000
	C ₃	2.500	)	10.000	54 %	60	600.000	324.000

145) Spalte 6 gibt an, wieviel Maschinen jeden Typs im Hinblick auf die mögliche Absatzmenge beschafft werden könnte, wenn ausschließlich dieser eine Typ in der Abteilung eingesetzt würde.

146) Spalte 7 gibt an, wie hoch der Kapitaleinsatz pro Maschinentyp ist, wenn ausschließlich dieser Typ in der Abteilung eingesetzt würde.

147) Spalte 8 enthält den jährlichen Zinsertrag bei Anschaffung eines Maschinentyps (Spalte 5 x Spalte 7).

Am gleichen Beispiel, das wir auch zur Bestimmung des Programms unter Anwendung des Kapitalwert-Kriteriums verwendet haben¹⁴⁸⁾, soll gezeigt werden, wie man bei begrenzten betrieblichen Anlagemöglichkeiten, die sich teilweise gegenseitig ausschließen, unter sinngemäßer Anwendung der Internen-Zinsfuß-Methode zum Optimalprogramm kommt.

Tabelle 30 enthält noch einmal die Daten des Beispiels. In Spalte 5 sind die internen Zinsfüße der einzelnen Maschinen angegeben.

Würde man eine Aussonderung nach dem internen Zinsfuß der einzelnen Anlagen vornehmen, so müssten in der Abteilung A die Anlagen A_1 und A_2 , in Abteilung B die Anlagen B_1 und B_2 und in Abteilung C die Anlagen C_1 und C_2 ausscheiden. Das Programm würde die Anlagen A_3 , B_3 und C_3 enthalten. Tabelle 31 zeigt das Programm mit seinem jährlichen Zinsertrag und dem Kapitaleinsatz. Der Zinsertrag ist der mit dem internen Zinsfuß multiplizierte Kapitaleinsatz. Er entspricht den Jahreszinsen eines Projekts. Mit seiner Hilfe gelingt es, das optimale Programm zusammenzustellen, wie wir im folgenden zeigen werden. Mit dem internen Zinsfuß allein wäre hingegen die Ermittlung des optimalen, d.h. des gewinnmaximalen Programms nicht möglich, weil mit seiner Hilfe lediglich das Programm mit dem günstigsten Verhältnis von Kapitaleinsatz zu Gewinn, also das Programm mit der höchsten Gesamtrentabilität, ermittelt werden kann. Es soll aber doch das Programm mit dem höchsten absoluten Gewinn bestimmt werden.

Als Kapitaleinsatz werden in unserem Beispiel und in den folgenden Ausführungen die Anschaffungsausgaben behandelt. Es wird damit unterstellt, daß die laufenden Ausgaben zu jedem Zeitpunkt durch laufende Einnahmen mindestens ausgeglichen oder aber sogar übertroffen werden. Ist diese Annahme aufgrund des Zahlungsverlaufs einer Investition nicht aufrechtzuhalten, so muß der Kapitaleinsatz als der mit dem in-

148) Vgl. unsere Ausführungen S. 154 ff, (Tabelle 7).

ternen Zinsfuß diskontierte Gegenwartswert der Ausgaben definiert werden.

T a b e l l e 31 (Programm I)

Projekt	Anzahl	Kapitaleinsatz	Zinsertrag
A ₃	12,5	625.000	500.000
B ₃	45	900.000	684.000
C ₃	60	600.000	324.000
		2.125.000	1.688.000

In Tabelle 31 sind zunächst die Projekte mit den höchsten internen Zinsfüßen aufgeführt. Nun geht schon aus Spalte 8 der Tabelle 30 hervor, daß andere Kombinationen als die der Tabelle 31 einen höheren jährlichen Zinsertrag bringen. Der Investor muß berücksichtigen, daß die Anlagen mit hohem internen Zinsfuß auch einen geringeren absoluten Zinsertrag bringen können. Er wird aus diesem Grunde überlegen, wieviel Geld er überhaupt in seinem Betrieb anlegen kann und welchen Zinsertrag diese Geldanlage bringt. Geht man von der Höhe der Zinserträge pro Maschinentyp aus (Spalte 8, Tabelle 30), so erhält man das folgende Programm:

T a b e l l e 32 (Programm II)

Projekt	Anzahl	Kapitaleinsatz	Zinsertrag
B ₁	18	1.980.000	1.702.800
C ₂	50	2.000.000	860.000
A ₁	5	2.000.000	820.000
		5.980.000	3.382.800

Der Zinsertrag von 3.382.800 entspricht bei einem Kapitaleinsatz von 5.980.000 einer Verzinsung von 56,56 %. Das Programm mit den höchsten internen Zinsfüßen pro Einzelmaschine (Tabelle 31) hat dagegen bei einem Kapitaleinsatz von 2.125.000 einen Zinsertrag von 1.688.000. Das entspricht einer Verzinsung von 79,43 %. Bedenkt man aber, daß die Differenz zwischen den beiden Kapitaleinsätzen beispielsweise nur zu 10% angelegt werden könnte, so muß man die Rendite des Programms I anders berechnen. Man muß die Differenz zwischen dem Kapitaleinsatz des Programms I und dem des Programms II zum gegebenen Marktzinsfuß ansetzen und dem weniger kapitalintensiven Programm I "gutschreiben".

Die Differenz beträgt 3.855.000 Kapitaleinsatz. Angenommen der Marktzinssatz liege bei 10%, so beläuft sich der Zinsertrag des ersten Programms auf 2.073.500. Das entspricht bei einem Kapitaleinsatz von 5.980.000 einer Verzinsung von 34,67 %. Das zweite Programm ist daher günstiger als das erste, weil es 56,56 % Zinsen auf den gleichen Kapitaleinsatz von 5.980.000 = 3.382.800 bringt. Damit ist aber nicht bewiesen, daß es gleichzeitig das beste Programm ist. Es könnte möglich sein, daß irgendeine Anlagenkombination, bei der im Betrieb weniger Kapital eingesetzt wird, günstiger ist. Der Übergang von Anlagen mit höherem internem Zinsfuß auf solche mit geringerem internem Zinsfuß ist nur dann günstig, wenn die zusätzliche Kapitalbindung eine höhere Verzinsung bringt, als die Anlage des zusätzlichen Kapitals außerhalb der Unternehmung. So wäre es z.B. günstiger, einen Maschinentyp I mit einem Kapitaleinsatz von 625 und einem internen Zinsfuß von 80% in das Programm aufzunehmen, wenn als Alternative der Maschinentyp II mit einem Kapitaleinsatz von 750 und einem internen Zinsfuß von 68% in Frage kommt. Der Zinsertrag steigt zwar im zweiten Falle; aber das zusätzlich erforderliche Kapital verzinst sich nur mit 8%.

Das geht aus folgender Berechnung hervor:

T a b e l l e 33

Projekt	Kapitaleinsatz	Interner Zinsfuß	Zinsertrag
I	625	80 %	500
II	750	68 %	510
II - I	125	8 %	10

Beträgt der Marktzinsfuß 10%, so bringt die Differenzinvestition (II - I) 12,5%, wenn sie außerhalb der Unternehmung angelegt wird.

Kehren wir zurück zu unserem Ausgangsbeispiel. Hier kann sehr einfach überprüft werden, ob der Übergang von einem Maschinentyp zum anderen wirtschaftlich ist. Man braucht nur zu berechnen, welchen zusätzlichen Kapitaleinsatz und welchen Mehrertrag an Zinsen der Übergang von einem zum anderen Maschinentyp bewirkt und welcher Verzinsung die zusätzliche Kapitalbindung entspricht. So fordert z.B. der Übergang von Maschinentyp A_3 auf A_1 bei vollständiger Substitution einen zusätzlichen Kapitaleinsatz von 1.375.000, wobei sich ein zusätzlicher Zinsertrag von 320.000 ergibt. Das entspricht einer Verzinsung von 23,2 %:

	Kapitaleinsatz	Zinsertrag	Interner Zinsfuß
A_3	625.000	500.000	80 %
A_1	2.000.000	820.000	41 %
$A_3 - A_1$	1.375.000	320.000	23,2 %

Der interne Zinsfuß von A_1 in Höhe von 41% ist auf diese Weise gewissermaßen in zwei Teile zerlegt: 80% entfallen auf den Grundbetrag von 625.000, der die Investition A_3 ersetzte,

und 23,2 % entfallen auf den Zusatzbetrag von 1.375.000.

T a b e l l e 34

→	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	-	- 20,0	- 23,2
A ₂	+ 20,0	-	- 38,0
A ₃	+ 23,2	+ 38,0	-

→	B ₁	B ₂	B ₃
B ₁	-	- 79,7	- 77,6
B ₂	+ 79,7	-	- 76,0
B ₃	+ 77,6	+ 76,0	-

→	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	-	.	- 16,8
C ₂	.	-	- 38,2
C ₃	+ 16,8	+ 38,2	-

Die Tabelle 34 zeigt, welche Verzinsung der zusätzliche Kapitaleinsatz beim Übergang auf andere Maschinentypen bringt. Die Werte mit negativen Vorzeichen zeigen an, daß der Übergang Kapital freisetzt und der Zinsertrag sinkt. So werden z.B. beim Übergang von A₂ nach A₃ 250.000 freigesetzt und der Zinsertrag vermindert sich um 95.000. Das entspricht einer negativen Rendite von 38 %. Der Übergang von C₂ nach C₁ bringt eine zusätzliche Kapitalbindung bei einer gleichzeitigen Minderung des Zinsertrages; der umgekehrte Vorgang - Übergang von C₁ nach C₂ - bewirkt eine Kapitalfreisetzung bei gleichzeitiger Erhöhung des Zinsertrages. In beiden Fällen läßt sich ein Zinsertrag nicht errechnen. Die Tabelle

enthält deshalb dafür keine Werte.

Die Tabelle 34 läßt erkennen, daß sämtliche Substitutionen gegen kapitalintensivere Maschinen günstiger sind, als die Anlage zum angenommenen Marktzinssatz von 10%. Geht man also von der Kombination A_3 , B_3 und C_3 als dem Programm mit den höchsten internen Zinsfuß der Einzelmaschine aus (Tabelle 31), so zeigt die Tabelle 34, daß die Substitution von B_3 nach B_1 die günstigste ist. Es folgen die Substitution von C_3 nach C_2 und schließlich von A_3 über A_2 nach A_1 . Alle diese Schritte bringen eine Verzinsung der zusätzlichen Kapitalbindung, die über dem Marktzinsfuß liegt. Der Grenzzinssatz beträgt 20,0 %. Es ist die letzte mögliche Substitution von A_2 nach A_1 . Das Optimalprogramm enthält die Maschinen B_1 , C_2 und A_1 . Damit ist bewiesen, daß das Programm der Tabelle 32 das optimale Programm darstellt. Läge der Marktzinssatz bei 25%, so wäre die letzte Substitution von A_2 nach A_1 unwirtschaftlich. Die zusätzliche Kapitalbindung würde weniger einbringen, als eine Anlage außerhalb der Unternehmung bzw. als die Zinsen des aufgenommenen Kapitals im Falle der Außenfinanzierung.

Will man aus der Lösung des Beispiels ein allgemeines Lösungsverfahren ableiten, so muß man beachten, daß der Übergang von einem Maschinentyp zu einem konkurrierenden Maschinentyp günstiger sein kann, als die Aufnahme eines nicht konkurrierenden Maschinentyps in das Programm und umgekehrt. So ist z.B. der Übergang von B_3 nach B_1 rentabler, als die Aufnahme von C_3 in das Programm. Der Übergang von B_3 nach B_1 bringt nämlich eine Verzinsung des zusätzlichen Kapitaleinsatzes von 77,6 %, während die Aufnahme von C_3 in das Programm nur 54% erwirtschaftet. Für die Durchführung der Planung sind deshalb die möglichen Aktionen, Substitutionen oder Aufnahme nicht konkurrierender Maschinentypen, nach der sich dabei ergebenden Rendite (dem internen Zinsfuß) zu ordnen. Man geht dann von dem Typ mit dem höchsten internen Zinsfuß aus und untersucht, ob im nächsten Schritt eine Substitution oder die Aufnahme einer nicht konkurrierenden Ma-

schine vorzuziehen ist. In unserem Beispiel wäre von der Maschine B_3 auszugehen, da sie die höchste Rendite (96%) erzielt. Als nächster Schritt wäre die Maschine A_3 in das Programm aufzunehmen, weil sie einen internen Zinsfuß von 80% aufweist. Dann müsste die Substitution von B_3 nach B_1 erfolgen, weil sich dabei eine Rendite von 77,6 % ergibt.

Die Umstellung bzw. Ergänzung des Programms ist anhand der Substitutionstabelle 34 und anhand der internen Zinsfüße der Maschinentypen solange fortzusetzen, bis der marginale interne Zinsfuß, d.h. die Rendite der zuletzt vorgenommenen Ausdehnung des Budgets, den Marktzinsfuß erreicht hat bzw. die Möglichkeit, zusätzliche Mittel rentabel anzulegen, erschöpft ist.

Die Zusammenstellung des optimalen Programms kann ohne Zwischenrechnungen aus den Tabellen 34 und 30 (Spalte 5) abgeleitet werden.

b) Das optimale Investitionsprogramm bei Kapitalrationierung

Der Lösungsgang ändert sich nicht, wenn dem Investor nur ein begrenzter Investitionsbetrag zur Verfügung steht. Unter der Bedingung, daß alle Anlagemöglichkeiten in die Überlegungen einbezogen werden, führt der aufgezeigte Lösungsgang zum Optimum. Legen wir unserem Beispiel von S. 154 ff. (Tabelle 7) ein Budget von 5 Millionen zugrunde, so beginnt die Programmmzusammenstellung mit dem Typ B_3 . Die einzelnen Schritte verlaufen wie folgt:

T a b e l l e 35

Pro- gramm	Typ	Anzahl	Gesamte Kapital- bindung	Zusätzliche Kapital- bindung	Verzinsung d. zusätzl. Kapital- bindung
I	B ₃	45	900.000		96 %
	A ₃	12,5	625.000		80 %
			1.525.000		
II	B ₁	18	1.980.000	+ 1.080.000	77,6 %
	A ₃	12,5	625.000		
			2.605.000		
III	B ₁	18	1.980.000		
	A ₃	12,5	625.000		
	C ₃	60	600.000	+ 600.000	54 %
			3.205.000		
IV	B ₁	18	1.980.000		
	A ₃	12,5	625.000		
	C ₂	50	2.000.000	+ 1.400.000	38,2 %
			4.605.000		
V	B ₁	18	1.980.000		
	A ₂	12,5	875.000	+ 150.000	38,0 %
	C ₂	50	2.000.000		
			4.855.000		
VI	B ₁	18	1.980.000		
	A ₁	0,644	257.600	+ 257.600	
	A ₂	10,89	762.300	- 112.700	
	C ₂	50	2.000.000	144.900	26,2%
			4.999.900		

Die letzte Substitution kann nur teilweise durchgeführt werden, weil der Fond nicht zur vollständigen Substitution ausreicht. Die Errechnung des Anteils von A_1 und A_2 kann in diesem Falle nach den uns bereits bekannten Gleichungen von S. 163 erfolgen:

$$(1) \quad 400x_1 + 70x_2 = 1.020$$

$$(2) \quad 20x_1 + 8x_2 = 100.$$

Die erste Gleichung bringt zum Ausdruck, daß der noch verfügbare Kapitalbetrag nicht überschritten werden darf. Die zweite Gleichung sorgt für die Einhaltung der Absatzbegrenzung. Die Symbole x_1 und x_2 bedeuten die Anzahl der Maschinen A_1 und A_2 .

Die Koeffizienten der ersten Gleichung sind die Kapitaleinsätze pro Maschine, die der zweiten Gleichung sind die Maschinenkapazitäten, ausgedrückt in Absatzmengen.

Das nach der Internen-Zinsfuß-Methode berechnete nichtganzzahlige Programm stimmt mit dem nach der Kapitalwert-Methode errechneten nichtganzzahligen Programm für das Beispiel überein (vgl. S. 163). Auf die Unterschiede werden wir beim Vergleich der beiden Methoden eingehen.

In dem behandelten Beispiel werden nur zwei Engpässe, nämlich das Kapital und die Aufnahmefähigkeit des Marktes, berücksichtigt. Bei der Aufnahme weiterer Engpässe in die Berechnung ist die Programmzusammenstellung nicht mehr durch einen systematischen Lösungsgang in der beschriebenen Art möglich. Es ergeben sich die gleichen Schwierigkeiten, wie wir sie bereits bei der Kapitalwert-Methode behandelt haben. Wir können deshalb auf die Ausweitung der Beispiele in dieser Richtung verzichten. Es bleibt in diesem Falle nur die Möglichkeit, die Rechenverfahren des Linear Programming anzuwenden.

Die Ermittlung des ganzzahligen Programms bereitet die gleichen Schwierigkeiten, wie bei Anwendung des Kapitalwertkriteriums. Zunächst muß dabei beachtet werden, daß eine Verzinsung des Kapitaleinsatzes bei einigen Maschinentypen nicht in vollem Umfang zum internen Zinsfuß möglich ist. So ist z.B. eine 80 %ige Verzinsung bei Maschine A_3 nur bis zur zwölften Maschine möglich. Die 13. Maschine wird wegen der begrenzten Marktkapazität nur halb ausgenutzt. Die laufenden Einnahmeüberschüsse sinken auf die Hälfte herab. Der Kapitaleinsatz bleibt dagegen gleich hoch. Die Aufnahme der 13. Maschine vom Typ A_3 in das Programm bringt daher nur eine Verzinsung von 40%. Das gleiche gilt bei den Maschinen A_2 und C_1 . Die letzte Maschine dieser Typen darf daher erst in das Programm aufgenommen werden, wenn alle anderen zusätzlichen Kapitalanlagen weniger rentabel sind.

Bei der Aufstellung des ganzzahligen Programms ist ferner zu bedenken, daß eine Programmumstellung erforderlich wird, wenn es zu Restbeträgen kommt. Dabei ist zu beachten, daß als Kennzahlen für die Umstellung nicht ohne weiteres die Renditen für die Substitution (Tabelle 34) und die internen Zinsfüße der Anlagen (Tabelle 30, Spalte 5) verwandt werden können. Sie gelten nur für die Fälle der vollständigen Teilbarkeit.

Wir wollen von Programm IV der nichtganzzahligen Lösung (Tabelle 35) ausgehen, da bis hierhin die Lösungsschritte offenbar gleich sind, und versuchen, das ganzzahlige Programm zu finden. Das kann nur durch Probieren unter Zuhilfenahme der Substitutionszahlen geschehen.

T a b e l l e 36

Programm	Typ	Anzahl	Kapitalbindung	Zinsertrag
IV	B ₁	18	1.980.000	1.702.800
	A ₃	13	650.000	500.000
	C ₂	50	2.000.000	860.000
			<u>4.630.000</u>	<u>3.062.800</u>
V	B ₁	18	1.980.000	1.702.800
	A ₂	13	910.000	595.000
	C ₂	50	2.000.000	860.000
			<u>4.890.000</u>	<u>3.157.800</u>
VI	B ₁	18	1.980.000	1.702.800
	A ₁	1	400.000	164.000
	A ₂	10	700.000	476.000
	C ₂	50	2.000.000	860.000
			<u>5.080.000</u>	<u>3.202.800</u>
VII	B ₁	18	1.980.000	1.702.800
	A ₁	1	400.000	164.000
	A ₂	10	700.000	476.000
	C ₂	48	1.920.000	825.600
			<u>5.000.000</u>	<u>3.168.400</u>

Programm VI, bei dem eine teilweise Substitution von A₂ gegen A₁ durchgeführt wurde, überzieht bereits das Budget, obwohl es sich bei dieser Substitution um den kleinstmöglichen ganzzahligen Schritt handelt. Bei der Suche nach einem Maschinentyp, durch dessen Verminderung am wenigsten an Zinsertrag verlorenggeht, stößt man auf Typ C₂. Bei Verzicht auf 2 Maschinen dieses Typs werden genau die erforderlichen 80.000 Einheiten Kapitaleinsatz eingespart. Jeder andere Verzicht bzw. jede andere Substitution zwecks Kapitaleinsparung würde teurer werden, wie sich anhand der

Spalten 4 und 5 der Tabelle 30 (S. 190) feststellen läßt. Das optimale Programm entspricht dem Programm VII der Tabelle 36.

Theoretisch müsste man noch eine ganze Reihe von Tests durchführen, um sicher zu gehen, daß das Programm VII das optimale ganzzahlige Programm darstellt. Bei verhältnismäßig übersichtlichen Beispielen wie dem vorliegenden genügen aber die beschriebenen Probiervorgänge. Das optimale ganzzahlige Programm stimmt mit dem nach der Kapitalwert-Methode errechneten Programm überein. Auf die Gründe für mögliche Abweichungen werden wir beim Vergleich der Methoden eingehen.

c) Das optimale Investitionsprogramm bei Kapitalangebot zu unterschiedlichen Zinssätzen

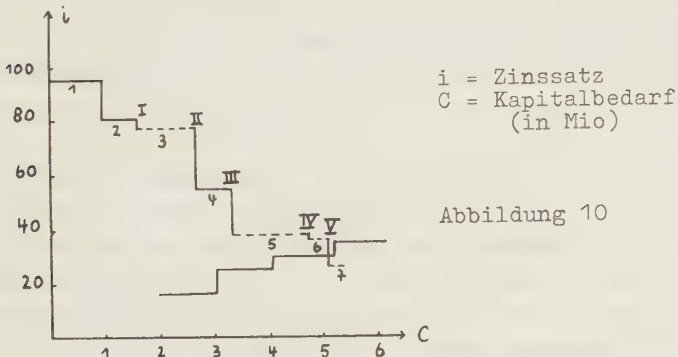
Besteht die Möglichkeit, das verfügbare Kapital durch Aufnahme von Mitteln zu unterschiedlichen Zinsfüßen zu vergrößern, so ist die Frage zu beantworten, wie weit das Investitionsvolumen ausgedehnt werden soll. Die Theorie hat für diesen Fall vorgeschlagen, die Investitionen nach ihren internen Zinsfüßen zu ordnen und sie den auf gleiche Weise geordneten Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten gegenüberzustellen¹⁴⁹⁾. Das Investitionsvolumen bestimmt sich dann nach der "Grenzinvestition" und der "Grenzfinanzierung". Es hat sein Optimum erreicht, wenn bei der Aufstellung des Programms das Investieren weiterer Mittel eine Verzinsung bringt, die gerade noch die Zinsen der dazu erforderlichen Aufnahme von Mitteln abdecken.

Dieser Lösungsgang ist einwandfrei, solange die Investitionsvorhaben sich nicht teilweise gegenseitig ausschließen. Sie müssen alle gleichzeitig durchführbar sein. Hat ein Projekt mehrere Alternativen mit ihrem jeweiligen internen

¹⁴⁹⁾ Vgl. hierzu Dean, Joel, Capital Budgeting, S. 67 und 68.

Zinsfuß, so liegt nahe, die Alternative mit dem höchsten internen Zinsfuß auszuwählen und die verbleibenden auszuschalten. Dieses Verfahren führt nicht zum Optimum, wie wir bereits für den Fall unbegrenzter Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten gezeigt haben¹⁵⁰⁾. Es ist nämlich denkbar, daß der Übergang von der besten Alternative eines Projekts zu einer weniger rentablen Alternative dieses Projekts eine günstigere Kapitalanlage darstellt, als die Anlage des Kapitals in einem ganz anderen Projekt.

Will man daher in einem solchen Falle das optimale Investitionsprogramm mit Hilfe der Dean'schen Kurve bestimmen, so muß man jeden Punkt der Kurve als ein Programm mit einer möglicherweise anderen Struktur, d.h. mit jeweils anderen Anlagetypen auffassen. Das zeigt sich am deutlichsten an unserem Beispiel von Tabelle 30: Die Kurve beginnt hier mit der Anlage von 900.000 Geldeinheiten zu 96% durch Aufnahme der Maschine B_3 in das Programm (vgl. Abb. 10 in Verbindung mit Tabelle 35, S. 198). Der nächste Schritt ist die Aufnahme der Maschine A_3 in das Programm mit einem Kapitaleinsatz von 625.000 Geldeinheiten und einer Rendite von 80%.



Anschließend wird ein Umtausch von B_3 in B_1 vorgenommen; das erfordert einen zusätzlichen Kapitaleinsatz von 1.080.000 Geldeinheiten, der sich mit 77,6 % rentiert. Der Punkt II der Abbildung 10 repräsentiert also ein Programm, das nicht

150) Vgl. unsere Ausführungen S. 193 ff.

die drei rentabelsten Projekte enthält, sondern zwei Projekte (B_1 und A_3), die in der Rangfolge nach dem internen Zinsfuß an dritter und vierter Stelle stehen. Die Kurve stellt demnach nicht mehr die nach ihren internen Zinsfüßen geordneten Projekte, sondern die nach ihren internen Zinsfüßen geordneten Anlagekombinationen bei sukzessiver Ausdehnung des Investitionsvolumens dar.

In unserem Beispiel erfolgt die erste, zweite und vierte Ausdehnung durch zusätzliche Aufnahme von Maschinentypen ohne Substitution (durchgezogene Linien der Abb. 10); auf der ersten Stufe wird Projekt B_3 aufgenommen, auf der zweiten und vierten Stufe A_3 bzw. C_3 . Auf der dritten, fünften und siebten Stufe erfolgt jeweils eine Umstellung, d.h. die Substitution eines Projekts gegen ein anderes mit entsprechendem Mehrbedarf an Kapital (unterbrochene Linien der Abb. 10). Die dritte Stufe zeigt die Wirkung des Übergangs von B_3 auf B_1 mit einem Kapitalmehrbedarf von 1.080.000 Geldeinheiten, die fünfte Stufe die des Übergangs von C_3 auf C_2 mit einem Kapitalmehrbedarf von 1.400.000 Geldeinheiten, auf der sechsten Stufe die des Übergangs von A_3 auf A_2 mit einem Mehrbedarf von 250.000 Geldeinheiten und auf der siebten Stufe die einer teilweisen Substitution von A_2 durch A_1 mit einem Kapitalmehrbedarf von 144.900 Geldeinheiten.

Stellen wir der auf diese Art gebildeten Kurve der Anlagemöglichkeiten die Kapitalaufnahmemöglichkeiten als Kurve gegenüber, so gibt der Schnittpunkt beider Kurven das Investitionsvolumen an. Wir haben in der Zeichnung angenommen, daß der Investor über zwei Millionen Geldeinheiten Eigenmittel verfügt, daß eine weitere Million zu 15%, jeweils eine weitere Million zu 25%, zu 30% und zu 35% Zinsen zu erhalten wären. In diesem Fall wird der Investor das Investitionsvolumen bis zu 4.855.000 Geldeinheiten ausdehnen. Eine weitere Ausdehnung würde eine Marginalverzinsung von 26,2 % bringen, während der erforderliche Betrag zur Durchführung dieser Ausdehnung zu 30% und 35% verzinst werden müsste.

Im Prinzip ist also der Lösungsgang beim Kapitalangebot zu unterschiedlichen Zinssätzen der gleiche wie beim Kapitalangebot zu einem einheitlichen Zinssatz und bei Kapitalrationierung. Nur wird das Investitionsvolumen nicht bis zu dem Punkt ausgedehnt, bei dem der marginale interne Zinsfuß gleich dem einheitlichen Marktzinsfuß (bei vollkommen elastischem Kapitalangebot) ist bzw. bis das Kapital aufgebraucht ist (im Rationierungsfall), sondern nur soweit, bis der marginale interne Zinsfuß der Anlagemöglichkeiten gleich dem marginalen internen Zinsfuß der Finanzierungsmöglichkeiten ist.

3. Der Vergleich der Rechnungsmethoden

Die beiden Rechnungsmethoden zur Auffindung des optimalen Investitionsprogramms gehen von unterschiedlichen Zielkriterien aus. Im einen Fall dient der Kapitalwert als Steuerungsmerkmal der Auslese; im zweiten Fall wird das Optimum mit Hilfe des jährlichen Zinsertrages berechnet; der jährliche Zinsertrag ist das Produkt aus dem internen Zinsfuß und dem Kapitaleinsatz.

Da die Ausgangsbasis der beiden Methoden voneinander abweicht, ist anzunehmen, daß auch die Lösungen nicht übereinstimmen. Wir haben zu prüfen, ob das zutrifft und auf welche Ursachen die voneinander abweichenden Lösungen zurückzuführen sind.

Als erste Ursache für mögliche Abweichungen ist die unterschiedliche Vorrechnung zu nennen, auf der die beiden Methoden aufbauen: Im einen Fall wird die jeweilige Nutzungsdauer der einzelnen Projekte nach der Kapitalwert-Methode berechnet; im anderen Fall ermittelt man sie nach der Internen-Zinsfuß-Methode. Das Ergebnis stimmt dabei grundsätzlich nicht überein, wie wir bereits gezeigt haben¹⁵¹⁾.

¹⁵¹⁾ Vgl. unsere Ausführungen auf S. 74 ff.

Das kann zu entsprechenden Unterschieden beim optimalen Programm führen, denn die Abweichungen der Vorrechnung werden in den Programmansatz übertragen.

Die Prämissen, die für beide Methoden im Rahmen der Einzelanalyse gelten, werden ebenfalls in die Berechnung des Programms übertragen. Es erhebt sich die Frage, welche Bedeutung sie in diesem Zusammenhang haben und bei welcher Methode sie wirklichkeitsnäher sind.

Wir hatten nachgewiesen, daß die Interne-Zinsfuß-Methode immer unterstellt, es ließe sich nach Ablauf der Nutzungsdauer einer Investition erneut die bisherige Rendite erzielen; bei der Kapitalwert-Methode hingegen wurde angenommen, daß nach Ablauf der Nutzungsdauer eine Rendite in Höhe des Kalkulationszinsfußes erreicht werden könne¹⁵²⁾. Überträgt man diese Prämissen auf die Programmplanung, so ergibt sich daraus folgendes: Das Kapitalwert-Modell unterstellt, daß nach Ablauf der jeweiligen Nutzungsdauer der einzelnen Projekte nur eine einzige, umfassende Investitionsmöglichkeit gegeben ist: die Anlage des Kapitals zu einem einheitlichen Kalkulationszinsfuß¹⁵³⁾. Der Kalkulationszinsfuß repräsentiert also jeweils die Rendite des Nachfolgers einer Investition und damit die Rendite aller zukünftigen Anlagemöglichkeiten.

Die Interne-Zinsfuß-Methode unterstellt, daß nach Ablauf der jeweiligen Nutzungsdauer der einzelnen Projekte jeweils wieder Investitionsvorhaben gegeben sind, die die gleiche Rendite erzielen wie der Vorgänger; es existieren nach dieser Annahme also auch in Zukunft Projekte mit unterschiedlichen Renditen.

152) Vom Fall der identischen Wiederholung sei hier abgesehen, weil bei diesem die Ermittlung des Kalkulationszinsfußes besonders unklar ist. Vgl. auch unsere Ausführungen, S. 74 ff.

153) Vgl. hierzu Albach, Horst, Investition und Liquidität, passim; derselbe, Das optimale Investitionsbudget, ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 456-470.

Beide Prämissen würden, wie wir bereits ausgeführt haben¹⁵⁴⁾, zu dem gleichen Ergebnis führen, wenn es 1. möglich wäre, den beim Kapitalwert-Modell erforderlichen Kalkulationszinsfuß als gewogenen Durchschnitt aus den Renditen der zukünftigen Investitionsprojekte im voraus zu berechnen, und wenn es 2. möglich wäre, das vorzeitige Ausscheiden aller unter dem Durchschnitt liegenden Zukunftsprojekte zu verhindern.

Keine dieser beiden Voraussetzungen kann aber erfüllt werden. Es bleibt nur das sehr bedenkliche Verfahren, einen Kalkulationszinsfuß zu schätzen. Dadurch weichen die Ergebnisse der beiden Modelle voneinander ab. Das wirkt sich besonders stark aus, wenn keine Engpässe bei der Aufstellung des Investitionsprogramms zu beachten sind: Nach dem Kapitalwert-Modell wird dann das Investitionsvolumen nur soweit ausgedehnt, bis die Grenzrendite des Programms gleich dem Kalkulationszinsfuß ist. Da der geschätzte Kalkulationszinsfuß in der Nähe der Durchschnittsrendite der zukünftigen Investitionsprojekte liegen soll, werden nur die über diesem Durchschnitt liegenden Vorhaben in das Programm aufgenommen. Das sich daraus ergebende Investitionsvolumen wird auf jeden Fall kleiner sein als das nach dem Internen-Zinsfuß-Modell berechnete Volumen. Das Interne-Zinsfuß-Modell dehnt nämlich das Investitionsvolumen soweit aus, bis die Kapitalnachfragekurve die Kapitalangebotskurve schneidet; die Rendite des letzten, noch zu realisierenden Investitionsprojekts kann dabei immer noch sehr hoch liegen; das richtet sich nach dem Niveau der Kurven. Auf jeden Fall liegt dieser Wert aber unter dem gewogenen Durchschnittszinsfuß der zukünftigen Investitionsrenditen und damit unter dem Kalkulationszinsfuß. Infolgedessen ist auch das Volumen des nach dem Internen-Zinsfuß-Modell ermittelten optimalen Programms größer als das nach dem Kapitalwert-Modell errechnete Volumen.

154) Vgl. unsere Ausführungen S. 74 ff.

Wird allerdings der Investitionsspielraum durch Engpässe stark begrenzt, so können die Lösungen der beiden Modelle doch übereinstimmen. In diesem Falle richtet sich das Investitionsvolumen nach den Engpässen; es stößt an die durch sie bestehenden Begrenzungen, bevor die durch das jeweilige Modell gezogene Rendite-Untergrenze erreicht wird. Infolgedessen spielen in einem solchen Falle die voneinander abweichenden Untergrenzen des Kapitalwert- und des Internen-Zinsfuß-Modells keine Rolle.

Es zeigt sich somit, daß nur in Ausnahmefällen das optimale Investitionsprogramm nach dem Kapitalwert-Modell bestimmt werden kann. Allerdings bleiben auch dann noch die Unterschiede zwischen den Modellen bestehen, die von der Nutzungsdauer-Bestimmung herrühren; wir hatten oben nachgewiesen, daß die beiden Modelle dabei zu abweichenden Ergebnissen führen können und daß der Interne-Zinsfuß-Methode der Vorzug zu geben ist. Das Interne-Zinsfuß-Modell ist also sowohl in bezug auf die Vorrechnung als auch in bezug auf die Programmbestimmung vorteilhafter. Die Nachteile der Kapitalwert-Methode werden bei seiner Anwendung vermieden.

Die Prämissen des Internen-Zinsfuß-Modells scheinen uns außerdem einleuchtend zu sein: die Annahme einer renditemäßigen identischen Wiederholung nach Ablauf jeder einzelnen, in dem derzeitigen Programm enthaltenen Investition bedeutet, daß auch in Zukunft Programme von gleicher Renditestruktur und gleichem Volumen aufgestellt werden können. Diese Annahme ist, wenn man sie sehr streng auslegt, nicht berechtigt. Es werden sich Abweichungen bei der Rendite der einzelnen Nachfolgeprojekte ergeben. Es ist aber anzunehmen, daß sich diese Einzelabweichungen gegenseitig weitgehend kompensieren werden und dadurch Nachfolgeprogramme mit etwa gleicher Gesamtrendite wie die des derzeitigen Programms entstehen.

Beurteilt der Investor allerdings schon im Kalkulationszeitpunkt die zukünftigen Investitionschancen anders als die

derzeitigen Anlagemöglichkeiten, dann treffen die Prämissen des Internen-Zinsfuß-Modells nicht zu. In der Regel herrscht aber Unkenntnis über die zukünftige Entwicklung und es bleibt in diesem Falle keine plausiblere Hypothese, als die Fortsetzung der aktuellen Verhältnisse zu unterstellen. Es wäre nur dann sinnvoll, von dieser Annahme abzuweichen, wenn konkrete Vorstellungen über die Nachfolger der heutigen Investitionen vorlägen. Wir werden im Rahmen der Darstellung mehrstufiger Programme auf diesen Fall eingehen.

Wir kommen damit zu dem Ergebnis, daß die Prämissen der Internen-Zinsfuß-Methode im Zusammenhang mit der Aufstellung von Investitionsprogrammen den Verhältnissen der Wirklichkeit entsprechen und zusammen mit dem Verfahren der Nutzungsdauerermittlung nach dem Internen-Zinsfuß-Kriterium eine in sich geschlossene gedankliche Einheit bilden. Bei der Kapitalwert-Methode ergeben sich hingegen systembedingte Schwierigkeiten, die deren Anwendung bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen problematisch erscheinen lassen.

Die vorstehend behandelten Modelle können durch die Aufnahme mehrerer, aufeinander folgender Programme in ein und dasselbe Modell erweitert werden. Durch eine solche Erweiterung würde man gegenüber den bisherigen Modellen zusätzliche künftige Zeitabschnitte in das Modell aufnehmen. Das bedeutet formal gesehen lediglich die Aufnahme weiterer Investitionsmöglichkeiten und Nebenbedingungen in den Modellansatz. Ausser den Kapitalwerten bzw. internen Zinsfüßen und Engpässen der ersten Periode erscheinen diejenigen der Folgeperioden im Modell, wobei Verknüpfungen zwischen Zielgrößen und Engpässen der einzelnen Perioden zu beachten sind. Allein wegen der Vielzahl von Bestimmungsfaktoren versagen in solchen Modellen die traditionellen Hilfsmittel zur Auffindung optimaler Lösungen. Das zeigte sich bereits an den beschriebenen einstufigen Modellen. Inwieweit mit Hilfe der Linearen Planungsrechnung Lösungen gefunden werden können, soll in einem späteren Kapitel behandelt werden.

Wir wenden uns vorerst der Frage zu, wie die Zusammenstellung eines Investitionsprogramms unter den in der Praxis herrschenden Bedingungen vorgenommen werden kann.

II. Die Zusammenstellung eines Investitionsprogramms unter den in der Praxis herrschenden Bedingungen

1. Die Einordnung der Investitionen in das Investitionsprogramm

Die Entscheidung über die Durchführung oder Ablehnung der einzelnen Investitionsvorhaben wird in der Praxis nicht nacheinander und gesondert für jedes Projekt, sondern zusammen für mehrere Projekte in Form eines Programms gefällt. Insofern stimmt der Modellansatz zur Aufstellung von Investitionsprogrammen mit den tatsächlichen Gegebenheiten überein. Über die richtige zeitliche Einordnung der einzelnen Projekte in aufeinander folgende Programme geben die einstufigen Modellansätze jedoch keine Auskunft. Weiterhin läßt sich aus den Modellen nicht entnehmen, wie die Investitionen mit unvollständigen Daten zu behandeln sind. Bei der Investitionsplanung in der Praxis müssen wir uns aber mit diesen Problemen auseinandersetzen. Wir gehen zunächst auf die zeitliche Einordnung der Investitionen in das Investitionsprogramm ein.

Ein Investitionsprogramm enthält diejenigen Vorhaben, die in dem Zeitraum bis zur nächsten Programmzusammenstellung in Angriff genommen werden. Es findet allerdings eine Abstimmung zwischen den aufeinander folgenden Programmen statt, weil die späteren Programme bei der Aufstellung des jeweils aktuellen Programms soweit wie möglich berücksichtigt werden sollen. Eine solche Abstimmung ergibt sich zwangsläufig beim Ausbau eines Produktionsvorhabens in mehreren Stufen. Diese Zwangsläufigkeit fehlt andererseits, wenn ein Projekt vorläufig aufgeschoben wird und damit aus dem Bereich des früheren Programms in den des nachfolgenden Programms gelangt. Es erhebt sich die Frage, ob diejenigen In-

vestitionen, welche bereits durch die vorhergehenden Programme festgelegt sind, noch Bestandteile nachfolgender Programme sein können. Da das Investitionsprogramm die neu zu fällenden Entscheidungen widerspiegeln soll, gehören alle zwangsläufig aus Vorprogrammen resultierenden Ausgaben (= Investitionen) nicht in das neue Programm, weil die Entscheidung bereits gefallen ist. Das Investitionsprogramm muß dagegen alle Investitionen enthalten, die für die unmittelbar bevorstehenden und für die späteren Perioden bindend entschieden werden. Eine bindende Entscheidung liegt dann vor, wenn die Investition bei späteren Entscheidungen nicht mehr rückgängig gemacht werden kann.

Wir kommen daher zu folgender Definition des Investitionsprogramms: Das Investitionsprogramm einer Periode enthält alle Vorhaben, die in der bevorstehenden Periode begonnen werden oder durch bindende Dispositionen für die Zukunft festgelegt werden.

Aus unserer Begriffsbestimmung geht hervor, daß das Investitionsprogramm nicht ohne weiteres den Kapitalbedarf der kommenden Periode erkennen läßt. Ein Teil des Kapitalbedarfs ergibt sich aus früheren Programmen. Ferner besagt unsere Begriffsbestimmung, daß Investitionsüberlegungen für spätere Perioden keinen Niederschlag im aktuellen Programm finden, wenn sie sich nicht zwangsläufig daraus herleiten. Revidierbare Vorausüberlegungen für zukünftige Programme, z.B. aufgeschobene Vorhaben, die voraussichtlich erst nach Ablauf der unmittelbar bevorstehenden Planungsperiode realisiert werden, erscheinen nicht im Programm, selbst wenn die Ausführung faktisch beschlossen ist. Es kommt also für den Umfang des Investitionsprogramms nicht nur darauf an, daß die Investitionen bereits beschlossen sind; ihre Ausführung muß in der bevorstehenden Planungsperiode auch tatsächlich eingeleitet werden. Der Beginn einer Investition wird durch die erste wesentliche und unrevidierbare Disposition bestimmt.

Neben der zeitlichen Einordnung von Investitionen entsteht in der Praxis das Problem, wie solche Investitionen im Rahmen des Programms zu behandeln sind, für die nur unvollständige Daten vorliegen.

Die Aufstellung von optimalen Investitionsprogrammen würde keine Schwierigkeiten bereiten, wenn sich bei der Investitionsplanung die Einnahmen und Ausgaben eindeutig den einzelnen Projekten zurechnen ließen. In diesem Falle könnten die Vorhaben mit Hilfe des Internen-Zinsfuß-Kriteriums in eine Rangordnung gebracht werden¹⁵⁵⁾. Eine Gegenüberstellung der Investitionsvorhaben mit den Finanzierungsmöglichkeiten würde dann das Investitionsprogramm und das Finanzierungsprogramm festlegen. Das optimale Investitions- und Finanzierungsvolumen wäre erreicht, wenn die Grenzkosten des Kapitals gleich dem marginalen internen Zinsfuß der Investitionen sind.

Dieser theoretische Lösungsansatz ist zum Scheitern verurteilt, wenn der interne Zinsfuß sich bei einer ganzen Reihe von Investitionen, nämlich denen mit unvollständigen Zahlungsreihen, nicht ermitteln läßt. Insbesondere betrifft das jene Investitionen, deren Gewinnwirkung nicht erfaßt werden kann, die aber ganz sicher gewinnwirksam sind. Beispiele dieser Art sind die Investitionen für Forschung und Entwicklung, für den Ausbau der Verwaltung, für soziale Einrichtungen und für diejenigen Fertigungsbereiche und Fertigungshilfsbereiche, denen wegen ihrer vertikalen und horizontalen Verflechtung mit mehreren Produktionsbereichen keine Einnahmen zugerechnet werden können.

Es leuchtet ein, daß das unter den Bedingungen der Praxis zu erstellende Investitionsprogramm nicht das gedanklich vor-

155) Eine Anwendung der Kapitalwert-Methode ist schon deswegen nicht möglich, weil sich der Kalkulationszinsfuß nicht eindeutig bestimmen läßt. Vgl. unsere Ausführungen auf S. 205 ff.

stellbare Optimalprogramm sein kann. Es soll aber ein Programm sein, das dem Optimum möglichst nahe kommt. Eine praktikable Lösungsmöglichkeit besteht darin, den Komplex der gesamten Investitionsprojekte durch eine geschickte Gruppierung aufzulösen und Teilprogramme aufzustellen, die in ihrer Zusammenfassung ein gutes Gesamtprogramm ergeben¹⁵⁶⁾

2. Die Untergliederung der Investitionen in Teilprogramme

a) Kriterien der Untergliederung

Das Prinzip einer bestimmten Rangfolge aller Investitionsvorhaben läßt sich in der Praxis nicht aufrechterhalten. Die einzelnen Gruppen von Projekten sind in ihrer Auswirkung auf die zukünftige Tätigkeit der Unternehmung zu unterschiedlich und müssen differenziert behandelt werden. Während ein Teil der Investitionen den Zweck hat, den bisherigen Ablauf auch in der Zukunft zu sichern, wird mit einer zweiten Gruppe die Anpassung an die sich ändernden Beschaffungs-, Produktions- und Absatzverhältnisse angestrebt. Eine dritte Gruppe von Projekten wird mit dem Ziel durchgeführt, gestaltend in die Produktions- und Marktverhältnisse einzugreifen und damit neue Gegebenheiten zu schaffen. Aus diesen unterschiedlichen Wirkungen der Projekte ergibt sich die Einteilung der Investitionsvorhaben in

- (1) Erhaltungsinvestitionen
- (2) Anpassungsinvestitionen
- (3) Gestaltungsinvestitionen¹⁵⁷⁾.

156) Über das Verhalten der Unternehmer bei der Aufstellung und Aufgliederung des Etats vgl. Gutenberg, Erich, Untersuchungen über die Investitionsentscheidungen industrieller Unternehmen, Köln und Opladen 1959, bes. S. 170 f.

157) Vgl. zu dieser Unterscheidung Hax, Karl, Die Kapitalwirtschaft des wachsenden Industrieunternehmens, S. 252 und 253.

Bei der Programmaufstellung ist das Augenmerk der Unternehmensleitungen in erster Linie auf die Gestaltungsinvestitionen gerichtet¹⁵⁸⁾. Die Anpassungsinvestitionen treten erst dort in das Blickfeld der Leitung, wo sie das Betriebsgeschehen erheblich ändern und wo sie einen erheblichen Teil des verfügbaren Kapitals beanspruchen. Die Erhaltungsinvestitionen treten hinter Gestaltungs- und Anpassungsinvestitionen zurück. Über sie wird von der Unternehmensleitung aus im allgemeinen nicht anhand einer Einzelanalyse entschieden, es sei denn bei sehr bedeutsamen Erhaltungsinvestitionen. In der Regel setzt man global die Höhe der Ausgaben fest, die in den einzelnen Programmen für Erhaltungsinvestitionen vorgesehen sind.

Die Entscheidungsvorbereitung muß die unterschiedliche Bedeutung der drei Investitionsgruppen berücksichtigen. Die Gruppierung erleichtert die Programmaufstellung, da die innerhalb der Gruppen zusammengefaßten Projekte besser vergleichbar sind.

Schließlich gibt die Einteilung der Vorhaben in drei große Gruppen einen besseren Überblick über die gesamte Investitionstätigkeit der Unternehmung und läßt insbesondere die Richtung der Investitionspolitik deutlicher erkennen.

Das Hauptproblem bei der Gruppierung der Investitionen besteht darin, die Vorhaben, welche als Mischformen zwischen Gestaltungs-, Anpassungs- und Erhaltungsinvestitionen anzusehen sind, richtig einzuordnen. Man muß hier eindeutige Richtlinien aufstellen. Als Erhaltungsinvestitionen könnten dabei alle Investitionen bezeichnet werden, die eine alte Anlage ersetzen sollen und gegenüber dieser alten Anlage keine wesentlichen Leistungserhöhungen aufweisen. Anpassungsinvestitionen lägen dann vor, wenn die produzierte Güter-

158) Zur Organisation von Investitionsentscheidungen vgl. Gutenberg, Erich, Unternehmensführung. Organisation und Entscheidungen. Die Wirtschaftswissenschaften, 45. Lieferung, Reihe A, Beitrag Nr. 2, Wiesbaden 1962, S. 166-168.

menge durch den Fortschritt in der Produktionstechnik erhöht wird oder wenn sich als Investitionswirkung eine Qualitätsverbesserung oder eine wesentliche Kostensenkung ergibt. Als Gestaltungsinvestitionen wären solche Investitionen zu bezeichnen, die eine wesentliche Umsatzerhöhung und Erweiterung des Produktionsprogramms erwarten lassen.

Die Einordnung der Investitionsvorhaben in diese drei Gruppen wird durch zusätzliche Merkmale erleichtert. So ist für die Gestaltungsinvestitionen charakteristisch, daß außer der Ausgabe für Produktionsanlagen erhebliche Ausgaben für Marketing anfallen. Oft sind der Ausbau des bisherigen Vertriebsnetzes, Werbefeldzüge, preispolitische und personalpolitische Maßnahmen sowie Änderungen in der Organisation eng mit den Anlageinvestitionen verbunden. Aufwendungen für Forschung und Entwicklung gehen ihnen meistens zeitlich voraus. Die einzelnen Teilmaßnahmen besagen jede für sich genommen recht wenig. Aus ihrer Kombination ist erst zu erkennen, ob die Gestaltungsinvestitionen Aussicht auf Erfolg haben.

Die Anpassungsinvestitionen werden durch Änderungen in der Umwelt des Unternehmens induziert. Es handelt sich in der Regel um die technische und damit kostenwirtschaftliche Verbesserung der Produktion als Folge des technischen Fortschritts oder eine Umstellung der Produktion als Folge von Bedarfswandlungen.

Bei Erhaltungsinvestitionen spielt die technische Verbesserung oder die Anpassung an Bedarfswandlungen eine untergeordnete Rolle. Hauptzweck ist die Verhinderung des Absinkens der bisherigen Leistung, die sich durch höheren Ausschuß, wachsende Reparaturkosten und längere Stillstandszeiten bemerkbar macht.¹⁵⁹⁾

159) Eine genaue Analyse der Faktoren findet sich bei Abromeit. Vgl. hierzu Abromeit, Hans Günther, Das Problem der Anlagenerneuerung. In: ZfB, 23. Jg. (1953), S. 89-100, hier S. 91.

Die Bedeutung dieser Gliederung für ein Unternehmen hängt von seiner Marktstellung, von der technischen Eigenart des Produktionsprozesses und vom Produktionsprogramm ab. In einem Unternehmen mit geringem Marktanteil, handwerklich ausgerichteten Produktionsmethoden, begrenztem Produktionsprogramm und festem Abnehmerkreis finden wir vorwiegend Erhaltungsinvestitionen, daneben in geringem Umfang Anpassungsinvestitionen und kaum jemals Gestaltungsinvestitionen. Eine entsprechende Aufgliederung der Vorhaben ist deshalb überflüssig. Hingegen leistet sie gute Dienste bei Unternehmungen, die einen hohen Marktanteil besitzen, bei denen die Produktionstechnik einem schnellen Wandel unterliegt, die ein vielseitiges Produktionsprogramm besitzen und sich einstellen müssen auf einen ständig wechselnden Abnehmerkreis. Die Gestaltungs- und Anpassungsinvestitionen werden hier im Mittelpunkt der Investitionstätigkeit stehen.

Wir wollen im folgenden die Frage behandeln, wie die Zusammenstellung der drei Teilprogramme aus der Sicht der Entscheidungsvorbereitung vorzunehmen ist.

b) Die Zusammenstellung der Erhaltungsinvestitionen

Soweit sich bei Erhaltungsinvestitionen die Einnahmen und Ausgaben nach den Methoden der Einzelanalyse zurechnen lassen, steht auch die Rentabilität der Vorhaben fest. Aus ihr ergibt sich, in welcher Reihenfolge die Investitionen in das Programm aufzunehmen sind. Insoweit ist das Modell zur Aufstellung eines Investitionsprogramms nach der Internen-Zinsfuß-Methode anwendbar. In vielen Fällen ist aber die Zurechnung entweder zu aufwendig oder sie ist nicht möglich. Die Investitionen können dann lediglich danach beurteilt werden, ob bei Weiterverwendung des alten Aggregats Einnahmeeinbußen zu befürchten sind und wie hoch diese sein könnten. Die Risikoüberlegungen werden hier meistens den Vorrang haben. Eine einheitliche Rangfolge aller Erhaltungsinvestitionen anhand von Kennzahlen scheitert an der unterschiedlichen Datenvollständigkeit der einzelnen

Projekte. Dennoch muß eine Reihenfolge festgelegt werden. Sie geschieht mehr oder minder nach der subjektiven Einstellung der Personen, die das Programm zusammenstellen. Sie stützen sich allerdings auf die vorhandenen Daten. Von ihrer Urteilsfähigkeit hängt es letzten Endes ab, ob die wichtigsten Vorhaben in das Programm aufgenommen werden. Eine verhältnismäßig objektive Auswahl läßt sich dadurch erreichen, daß die Programmaufstellung von einer unabhängigen Stabsstelle durchgeführt wird. Sie kann die Rangfolge der Projekte einzelner Abteilungen am besten in eine Rangfolge für das gesamte Unternehmen umwandeln. Dabei ist es zweckmäßig, wenn aus Kontrollgründen zwei oder mehr Planer zunächst jeder für sich eine Rangfolge festlegen; dann braucht man nur noch die Fälle, bei denen die Beurteilung auseinandergeht, zu untersuchen.

Die Struktur des Programms wird bei Erhaltungsinvestitionen im allgemeinen von der Planungsabteilung selbst vorausbestimmt. Die Unternehmensleitung legt nur das Volumen des Programms fest. Da das Programm oft nicht in vollem Umfang durchgeführt werden kann und ein Teil der Projekte ausgeschieden werden muß, ist die Rangfolge am unteren Ende der Reihe besonders wichtig. Dagegen spielt es keine Rolle, ob ein Projekt beispielsweise an erster oder an zweiter Stelle steht; es wird in jedem Falle realisiert. Die Höhe der für Erhaltungszwecke zur Verfügung stehenden Mittel richtet sich nach der Höhe des Gesamtbudgets und dem Umfang der anderen Teilprogramme. Das Budget für die Erhaltungsinvestitionen kann demnach erst dann festgesetzt werden, wenn die anderen Teilprogramme vorliegen.

Eine Berücksichtigung betrieblicher Engpässe ist bei Erhaltungsinvestitionen in der Regel nicht erforderlich, weil die bisher eingesetzten Produktionsfaktoren auch für die Ersatzanlage verwendbar sind. Entstehen dennoch Engpässe, so ist ihre Beseitigung zusammen mit der eigentlichen Anlage zu planen, weil davon die Zahlungsströme des Projekts maßgeblich bestimmt werden.

c) Die Zusammenstellung der Anpassungsinvestitionen

Da die Anpassungsinvestitionen zwar keine grundsätzlichen, aber immerhin sehr wesentliche Änderungen im Ablauf der Unternehmenstätigkeit herbeiführen, wird die Analyse hier eingehender sein als bei Erhaltungsinvestitionen. Die Rangfolge der einzelnen Projekte kann in größerem Umfang anhand von Kennzahlen erfolgen. Außerdem ist es bei Anpassungsinvestitionen, insbesondere bei Anpassungen an den Absatzmarkt, vielfach möglich, die aus den Anpassungsmaßnahmen resultierenden Einnahmeerhöhungen zu schätzen. Die Rentabilität dieser Vorhaben läßt sich deshalb im allgemeinen leichter errechnen als bei Erhaltungsinvestitionen.

Die Kennzahlen der Einzelanalyse werden aber nur Anhaltspunkte für die Bestimmung der Rangfolge der Vorhaben liefern können. Die Anpassungsinvestitionen sind vielfach so wichtig, daß eine schematische Auslese nicht zu vertreten ist. Deshalb wird sich die Planungsabteilung vor allem auf die Sammlung und systematische Gliederung der Investitionsmöglichkeiten konzentrieren. Es wäre z.B. falsch, von den Vorhaben, die sich gegenseitig ausschließen, nur die rentabelsten zu berücksichtigen und damit die alternativen Lösungen von vornherein auszuschließen¹⁶⁰⁾.

Zur Programmaufstellung gehört nicht nur die Einordnung der Alternativen, sondern auch die Ermittlung des Kapitalbedarfs

160) Aufschluß über die Ausführungsmöglichkeiten der einzelnen Projekte gibt der Verfahrensvergleich, der bis in die technischen Ursachen der unterschiedlichen Einnahmen und insbesondere der Ausgaben eindringt. Vgl. hierzu Witthof, J., Der kalkulatorische Verfahrensvergleich, insbesondere die Wirtschaftlichkeitsrechnung. Das Refa-Buch, Band 5, München 1956. Eine ausführliche Darstellung des Verfahrensvergleichs für den Bereich der chemischen Industrie findet sich bei Kölbel, Herbert und Schulze, Joachim, Projektierung und Vorkalkulation in der chemischen Industrie, Berlin-Heidelberg-Göttingen 1960.

für das ganze Programm sowie die Ermittlung der Gesamtkennzahlen. Man geht dabei auf die gleiche Weise vor, wie bei der Analyse von Einzelinvestitionen¹⁶¹⁾. Die Entscheidungsorgane können anhand der Kennzahlen entweder eine bestimmte Kombination akzeptieren oder sie verlangen die Aufstellung neuer Kombinationen. Verursacht die theoretisch richtige Kombination etwa einen zu hohen Kapitalbedarf oder enthält sie eine technisch nicht befriedigende Lösung, so sind neue Programme aufzustellen. Es darf nämlich nicht übersehen werden, daß die Rentabilität nur der erste Anhaltspunkt für die Einordnung der Investitionen ist. Sobald andere Gesichtspunkte, wie Risiko und langfristige Auswirkungen des Programms, zu berücksichtigen sind, ist es denkbar, daß die Unternehmensleitung ganz andere Kombinationen verlangt. Deshalb wird es in vielen Fällen sinnvoller sein, daß die Festlegung der Ausgangskombination von den Entscheidungsorganen selbst vorgenommen wird und die Entscheidungsvorbereitung lediglich die Kennzahlen des Programms errechnet. Daran kann sich eine Überprüfung und Umgruppierung anschließen.

Die auftretenden betrieblichen Engpässe werden bei den Anpassungsinvestitionen den Spielraum möglicher Kombinationen einengen. Die Berücksichtigung der Engpässe kann in der Form erfolgen, daß bei der Aufstellung der wirtschaftlichsten Kombination geprüft wird, ob einzelne Projekte um einen Engpaß konkurrieren und sich deshalb gegenseitig ausschließen. Zeigt sich die Möglichkeit einer Engpaßbeseitigung, so können die um den bisherigen Engpaß konkurrierenden Projekte mit der Engpaßbeseitigung zusammengefaßt werden und als Gesamtvorhaben analysiert werden. In der Zusammenstellung des Gesamtprogramms tritt dann dieses Sammelprojekt als Alternative zu den Einzelobjekten auf. Es ist dabei zu beachten, daß die Einzelprojekte als solche sich gegenseitig ausschließen, aber auch das Sammelprojekt und die isolierten Einzelprojekte. Nehmen wir beispielsweise an, wegen Raummangel könne entweder nur Projekt A oder nur Projekt B

161) Vgl. unsere Ausführungen S. 87 ff.

verwirklicht werden. Es besteht aber die Möglichkeit, die Raumknappheit durch ein Verfahren B zu beseitigen. In diesem Falle wären Projekt A und Projekt B durchführbar. Damit ergeben sich drei konkurrierende Möglichkeiten: Man realisiert entweder nur A oder nur B oder $A + B + C$.

Eine Reihe von Anpassungsinvestitionen läßt sich überhaupt nicht unter Rentabilitätsgesichtspunkten in ein Programm einordnen. So ist z.B. der Bau eines größeren Verwaltungsgebäudes, der aus Anlaß eines ständig steigenden Geschäftsumfangs ins Auge gefaßt wird, zwar eine typische Anpassungsinvestition, sie ist jedoch mit anderen Anpassungsinvestitionen nicht vergleichbar. Es ist nicht zweckmäßig, solche Investitionen mit Projekten aus dem Produktionsbereich, die unter Rentabilitätsgesichtspunkten beurteilt werden können, zusammenzubringen. Sie sollten deshalb als Programmanhang erscheinen. Ihre Durchführung oder Ablehnung richtet sich danach, ob die bisherige Anlage noch in der Lage ist, die gestellten Aufgaben zu erfüllen oder nicht. Die objektive Beurteilung dieser Frage kann durch Maßzahlen, die die Ausnutzung der bisherigen und der geplanten Anlage zum Ausdruck bringen, gesichert werden. Der Entscheidungsvorbereitung fällt lediglich die Aufgabe zu, diese Unterlagen zu erstellen und vorzulegen.

Wir kommen damit zu der Feststellung, daß bei den Anpassungsinvestitionen die Programmstruktur im Gegensatz zu den Erhaltungsinvestitionen sehr stark von den Entscheidungsorganen beeinflusst wird. Damit fällt der Entscheidungsvorbereitung vorwiegend die Aufgabe zu, die Einzelanalyse der Projekte vorzunehmen, die Projekte zur Auswahl vorzulegen, eventuell Vorschläge für die Programmstruktur auszuarbeiten und die Programmkennzahlen nach erfolgter Auswahl zu errechnen.

d) Die Zusammenstellung der Gestaltungsinvestitionen

Gestaltungsinvestitionen heben sich von Anpassungsinvestitionen, abgesehen von den Unterschieden in der beabsichtigten Wirkung, durch ihre Seltenheit und durch ihren Umfang ab. Selbst in großen Unternehmungen kommen typische Gestaltungsinvestitionen nicht sehr häufig vor. Bei der Zusammenstellung dieses Teilprogramms liegt das Problem deshalb nicht darin, die vorteilhafteste Kombination vieler Möglichkeiten zu finden. Die Kombinationsmöglichkeiten sind leicht überschaubar. Die Programmzusammensetzung ergibt sich aus der Entscheidung über die Annahme oder Ablehnung der einzelnen Gestaltungsinvestitionen.

Die Entscheidung über die Annahme oder Ablehnung der einzelnen Gestaltungsinvestitionen muß aber offensichtlich unter zusätzlicher Beachtung übergeordneter Gesichtspunkte geschehen. Die Gestaltungsinvestitionen bestimmen nämlich die zukünftige Ausrichtung der Unternehmenstätigkeit. Sie verändern die Marktstellung der Unternehmung, die entweder ihren bisherigen Marktanteil vergrößert oder sich neue Märkte erschließt. Diese Investitionen beanspruchen außerdem in hohem Maße die Kapitalkraft der Unternehmung. Sie stehen in unmittelbarer Beziehung zu der Gesamtkonzeption der Unternehmenspolitik. Diese Konzeption führt zu einer bestimmten Strategie, d.h. einer Festlegung der allgemeinen Geschäftspolitik. Die Gestaltungsinvestitionen sind Ausdruck dieser langfristigen Geschäftspolitik. Ihre Gesichtspunkte bestimmen deshalb entscheidend die Rangfolge der Projekte und damit die Programmstruktur. Beide werden also nicht allein von der Rentabilität des einzelnen Projektes oder Programms bestimmt. Die Rentabilität übt allerdings in jedem Falle eine korrigierende Wirkung aus. Wenn sich beispielsweise herausstellt, daß die Investitionen, welche nach der langfristigen Strategie des Unternehmens den Vorrang genießen, weniger rentabel sind, als andere, dann kann das zu einer Änderung der Strategie führen. Dadurch ergibt sich eine neue Rangfolge der Investitionen.

Der Einfluß der Rentabilität auf die Struktur des Programms wird noch durch einen weiteren Umstand eingeschränkt. Für jede Gestaltungsinvestition lassen sich meistens mehrere Rentabilitäten errechnen. Die Reaktion des Marktes auf den gestaltenden Eingriff kann nämlich nicht im voraus durch einen einzigen Wert erfaßt werden. Unter Rentabilitäts Gesichtspunkten ergibt sich deshalb eine eindeutige Rangfolge nur dann, wenn auch die Reihenfolge für die Rentabilitäts ober- und -untergrenze der Projekte die gleiche ist, wenn also z.B. Projekt A eine Rentabilität zwischen 15 und 20 Prozent aufweist, während Projekt B zwischen 12 und 17 Prozent liegt.

Schließlich ist die Rentabilität bei unteilbaren Projekten, die in der Größenordnung wesentlich voneinander abweichen, als Rangordnungskriterium ohnehin umstritten. Mit welchen Argumenten könnte man etwa eine Investition A mit einem anfänglichen Kapitaleinsatz von 1 Million Geldeinheiten und einer Rentabilität von 10% einer Investition B vorziehen, die einen anfänglichen Kapitaleinsatz von 3 Millionen erfordert und eine Rentabilität von 8% erbringt¹⁶²⁾? Derartige Investitionen werden deshalb in der praktischen Unternehmenspolitik gar nicht erst in eine strenge Rangordnung gebracht. Sie gelten als getrennte Objekte, wenn sie sich nicht von ihrem Betriebszweck her ausschließen, sondern nur um das zur Verfügung stehende Kapital miteinander konkurrieren. Über die Zurückstellung von Investition B in unserem Beispiel wird sicher nicht die Tatsache entscheiden, daß bei A die Rentabilität höher ist. Viel eher wird es darauf ankommen, welche der beiden Investitionen mit der Kapitalausstattung am besten in Einklang gebracht werden kann. Unter Umständen ist die Unternehmung in der Lage, beide Investitionen durchzuführen. Die Rangfolge spielt dabei keine Rolle.

162) Ein ähnliches Beispiel bringt Gerbel, der im übrigen eher für die rentablere Investition und nicht für die gewinnmaximale plädiert. Vgl. hierzu Gerbel, B. M., Rentabilität, Wien 1955, bes. S. 102 und 103.

Ein anderer Gesichtspunkt, den wir bisher nicht ausdrücklich erwähnt, ist die Aufschiebbarkeit der Gestaltungsinvestitionen¹⁶³⁾. Manche Projekte verlieren beim Aufschub um eine oder mehrere Perioden erheblich an Ertragskraft. Das liegt meistens daran, daß die Investitionschancen in der Zwischenzeit von den Konkurrenten ausgenutzt werden. Bei anderen Projekten bringt der Aufschub nur geringe Gewinneinbußen. Dieser Aspekt sollte bei der Einzelanalyse eines Projekts beachtet werden. Die Durchführung zu einem anderen Zeitpunkt als dem Kalkulationszeitpunkt ist nämlich eine der verschiedenen Alternativen eines Projekts. Wird eine Investitionschance rechtzeitig erkannt, so läßt sich auch in etwa der günstigste Zeitpunkt der Durchführung ermitteln. Ist dieser Zeitpunkt erreicht bzw. überschritten, dann wird jeder weitere Aufschub eine Ertragseinbuße bringen. Sie wird bei den einzelnen Projekten verschieden hoch sein; das muß bei der Durchrechnung der Projekte und bei der Programmzusammenstellung beachtet werden.

Betriebliche Engpässe werden bei der Planung der Gestaltungsinvestitionen am zweckmäßigsten in der Weise berücksichtigt, daß die Engpaßbeseitigung jeweils in die Gestaltungsinvestition einbezogen wird.

Tritt der Fall ein, daß mehrere Gestaltungsinvestitionen um einen betrieblichen Engpaß miteinander konkurrieren, so müssen die betreffenden Gestaltungsinvestitionen als sich gegenseitig ausschließende Vorhaben behandelt werden. Das ist jedoch nur dann notwendig, wenn die Engpaßbeseitigung unmöglich ist. Andernfalls müssen die betreffenden Gestaltungsinvestitionen mit dem Engpaß-Erweiterungsvorhaben zusammen als Sammelprojekt behandelt werden.

163) Bei Erhaltungs- und Anpassungsinvestitionen fallen die Wirkungen eines Aufschubs meistens weniger ins Gewicht. Grundsätzlich sind sie aber auch dort zu beachten.

3. Die Zusammenstellung des Gesamtprogramms

Die Aufteilung des Gesamtprogramms in die drei Teilprogramme ergibt sich aus dem Vergleich der Grenzinvestitionen der Teilprogramme. Im Idealfall lassen sich die Grenzrenditen der Teilprogramme angeben. Weichen sie stark voneinander ab, so sollte eine Umschichtung zugunsten des Teilprogramms stattfinden, das die höchste Grenzrentabilität aufweist. Dabei ist die unterschiedliche Teilbarkeit der Teilprogramme zu beachten. Infolgedessen ist die ungleichmäßige Grenzrentabilität der Teilprogramme nur ein Ausgangspunkt zur Kontrolle der richtigen Verteilung. Als Ergebnis der Überprüfung wird sich möglicherweise die gleiche Verteilung mit voneinander abweichenden Grenzrentabilitäten der Teilprogramme ergeben wie zu Anfang der Überprüfung. Erhebliche Schwierigkeiten bereitet die Ermittlung der Grenzrentabilitäten von Erhaltungsinvestitionen. Man wird sich deshalb mit der Annahme begnügen müssen, daß die Grenzrentabilität der Erhaltungsinvestitionen in etwa der Grenzrentabilität der anderen Teilprogramme entspricht, wenn alle für notwendig erachteten Erhaltungsinvestitionen durchgeführt werden. Die Richtigkeit dieser Annahme läßt sich nicht exakt überprüfen. Hingegen wird es leichter sein, die Grenzrenditen des Programms der Anpassungsinvestitionen und der Gestaltungsinvestitionen zu errechnen und miteinander zu vergleichen.

4. Die Abstimmung des Gesamtprogramms mit dem langfristigen Finanzplan

Die drei Teilprogramme lassen sich in der Weise zusammenfassen, daß man den Gesamtkapitalbedarf errechnen kann. Wir haben bei der Analyse von Einzelinvestitionen gesehen, daß der Kapitalbedarf sich nur auf einen Teil ihrer Nutzungsdauer erstreckt, weil die späteren Angaben in der Regel durch die Einnahmen der Investition selbst abgedeckt werden. Man kann deshalb den Kapitalbedarf eines Investitionsprogramms mei-

stens einigermaßen exakt ermitteln. Es besteht damit auch die Möglichkeit, eine Abstimmung mit dem langfristigen Finanzplan vorzunehmen.

Wir haben bei der Einzelanalyse der Investitionen bereits behandelt, wie der Kapitalbedarf mit der Finanzplanung abgestimmt werden kann, wenn nur eine einzige Investition durchgeführt wird¹⁶⁴⁾. Diese Abstimmung läßt sich analog auf das gesamte Programm anwenden.

Die Kapitalbedarfsrechnung für das Gesamtprogramm kann entweder zu dem Ergebnis führen, daß die Kapitalnachfrage gedeckt werden kann, oder daß die Kapitaldeckung Schwierigkeiten bereitet¹⁶⁵⁾. Die Deckung der Kapitalnachfrage ist dann möglich, wenn die Finanzierungsarten, die dazu herangezogen werden müssen, im üblichen Rahmen liegen und die Verschuldungsgrenze nicht überschritten wird. Was man als den üblichen Rahmen anzusehen hat, unterliegt der Beurteilung der Unternehmensleitung. Als Orientierungsmaßstäbe gelten für viele Unternehmungen die Finanzierungsregeln. Sie sind jedoch umstritten¹⁶⁶⁾.

Es kommt auf die Wahrung des langfristigen Zahlungsgleichgewichts an. Deshalb wäre beispielsweise eine Unternehmung, welche ausschließlich mit Fremdmitteln arbeitet, die aber aufgrund ihrer Ertragslage jederzeit die laufenden Tilgungs- und Zinsverpflichtungen erfüllen kann, in bezug auf ihre Finanzierungsgepflogenheiten durchaus positiv zu beurteilen.

164) Vgl. unsere Ausführungen auf S.129 ff.

165) Gutenberg schreibt hierzu: "Die finanziellen Möglichkeiten können größer, aber auch geringer sein, als der Investitionsbedarf, der im übrigen keine 'gegebene' Größe ist". Vgl. Gutenberg, Erich, Untersuchungen über die Investitionsentscheidungen industrieller Unternehmen, S. 172.

166) Vgl. hierzu die Diskussionsbeiträge zur Schmalenbachtagung über das Thema "Eigenkapital als Risikoträger", In: ZfhF, NF, 15. Jg. (1963), S. 246-284.

Es ist jedoch zu bedenken, daß sie in ihren Dispositionen sehr stark von den Kreditgebern abhängig sein wird und daß die Kreditgeber für die Übernahme des Risikos entsprechende Prämien verlangen werden¹⁶⁷⁾. Man wird deshalb nicht nur auf das langfristige Zahlungsgleichgewicht zu achten haben, sondern auch berücksichtigen müssen, daß die Zusammensetzung der Finanzierungsarten nicht allzusehr von den allgemeinen Finanzierungsgewohnheiten abweichen. Die Unternehmensleitung kann dabei nicht nur ihren eigenen Vorstellungen nachgehen. Sie ist gezwungen, sich im branchenüblichen Rahmen zu bewegen. Die Kapitalnachfrage des Investitionsprogramms kann deshalb nur dann befriedigt werden, wenn das langfristige Zahlungsgleichgewicht mit Finanzmitteln aufrechterhalten wird, die in ihrer artmäßigen Struktur mit der bisher bestehenden und der branchenüblichen Struktur der Finanzierungsarten übereinstimmt, die in ihren zeitlichen Zahlungsverlauf dem Kapitalbedarf des Investitionsprogramms entsprechen und die genügend Reserven lassen, um die unmittelbar drohenden finanzwirtschaftlichen Planabweichungen aufzufangen¹⁶⁸⁾.

Tritt der Fall ein, daß der Kapitalbedarf des Investitionsprogramms nicht in der beschriebenen Weise gedeckt werden

167) In der Praxis spielt die Unabhängigkeit betrieblicher Dispositionen vom Einfluß der Kreditgeber besonders bei mittleren und kleineren Unternehmen eine Rolle. Vgl. hierzu Oursin, Thomas, Probleme industrieller Investitionsentscheidungen. Ergebnisse schriftlicher und mündlicher Befragungen des Ifo-Instituts für Wirtschaftsforschung. Berlin-München 1962, S. 58 f.

168) Über die unmittelbar drohenden finanzwirtschaftlichen Planabweichungen kann die Risikoanalyse der einzelnen Investitionen Auskunft geben. Das Problem der sinnvollen Zusammenfassung der Risiken läßt sich schwer lösen. Am ehesten ergeben sich Anhaltspunkte für die finanzwirtschaftlichen Planabweichungen, wenn die Planabweichungen der Vergangenheit ermittelt werden.

kann, so muß das Programm gekürzt werden¹⁶⁹⁾. Dabei liegt es nahe, jene Investitionen auszusondern, durch deren Ausschluß es gelingt, die Nachfragekurve nach Investitionskapital der Angebotskurve anzupassen. Die Investitionen, welche dafür in Frage kämen, lassen sich anhand des Zahlungsverlaufs der Einzelanalyse herausfinden. Wäre es beispielsweise notwendig, den Kapitalbedarf der dritten Periode nach dem Planungszeitpunkt herabzusetzen, so würde man jene Investitionen aussondern, die in dieser Periode einen hohen Kapitalbedarf entwickeln. Man könnte dadurch verhindern, daß auch solche Investitionen zurückgestellt werden, die keine wesentlichen Einsparungen in der dritten Periode bringen.

Bei der praktischen Lösung dieser Frage kann man allerdings davon ausgehen, daß bei den meisten Investitionen der Kapitalbedarf zu Anfang der Laufzeit am höchsten ist. Es wird sich deshalb meistens darum handeln, den Kapitalbedarf der ersten Periode herabzusetzen. So ist es zu erklären, daß die Praxis bei notwendigen Kürzungen des Gesamtprogramms die Aussonderung nicht nach dem Zahlungsverlauf der Einzelprojekte vornimmt. Man verteilt vielmehr den Kürzungsbetrag auf die Teilprogramme, indem man festlegt, daß beispielsweise der Kapitalbedarf jedes Teilprogramms um einen bestimmten Prozentsatz zu senken ist. Damit fallen auch die Schwierigkeiten, die dadurch entstehen könnten, daß bei der Aussonderung nach dem Zahlungsverlauf unter Umständen sehr rentable Investitionen aus dem Programm verwiesen werden müßten. Auf die dargestellte Weise erhalten wir das Gesamtprogramm, dessen Kapitalbedarf mit den zur Verfügung stehenden Mitteln abgedeckt werden kann.

169) Es zeigt sich an diesem Beispiel, daß nicht das Modell angewandt wird, welches von einer zulässigen Lösung ausgeht und dann durch Substitutionen versucht, das Optimum zu erreichen. Vielmehr geht man von einer unzulässigen Lösung aus und versucht durch systematisches Einsparen, eine zulässige Lösung zu finden. Vgl. unser Modell auf S. 159.

Wir überprüfen nun die Bedingung, daß der interne Zinsfuß der Investitionsvorhaben, die im Programm enthalten sind, über den Kapitalkosten der zur Durchführung notwendigen Mittel liegt. Das läßt sich nur dann exakt feststellen, wenn wir die Kapitalkosten aller Finanzierungsarten und die internen Zinsfüße aller Investitionsvorhaben kennen. Dann könnte man auch den Grenzzinssatz ermitteln, bei welchem die Grenzkosten der Finanzierung gleich den Grenzerträgen (gemessen am internen Zinsfuß) der Investitionen sind. Damit wäre zugleich das optimale Investitions- und Finanzierungsvolumen bekannt; denn jede Ausdehnung über diesen Punkt hinaus würde den Gewinn des Programms mindern.

Die Daten, die zur exakten Feststellung des optimalen Investitions- und Finanzierungsvolumens erforderlich sind, können aber in den seltensten Fällen vollständig beschafft werden. Jedoch besteht die Möglichkeit, eine angenäherte Lösung zu finden. Es genügt nämlich, die Grenzinvestition und die Grenzfinanzierung zu erfassen und beide miteinander zu vergleichen¹⁷⁰⁾. Gegenüberzustellen sind also die teuerste Finanzierungsmaßnahme, die man noch bereit ist durchzuführen, mit der am wenigsten rentablen Investition, die das Programm noch enthalten soll. Liegt der Zinssatz der Finanzierungsmaßnahme unter dem internen Zinsfuß der am wenigsten rentablen Investition, dann leistet die Investition noch einen positiven Beitrag. Das Investitionsvolumen ist nicht zu hoch gewählt. Im umgekehrten Fall ist es ganz sicher zu hoch angesetzt.

Um dieses Verfahren anwenden zu können, muß man die Rentabilität der Grenzinvestitionen und die Zinskosten der Grenzfinanzierung ermitteln. Grenzinvestition und Grenzfinanzierung müssen sich in etwa entsprechen, d.h. sie müssen in Umfang und Laufzeit ungefähr übereinstimmen. Es ist selbstver-

170) Auf diese Möglichkeit hat Moxter bereits hingewiesen. Vgl. hierzu Moxter, Adolf, Die Bestimmung des Kalkulationszinsfußes bei Investitionsentscheidungen, S. 192 und 193.

ständig, daß weder eine unbedeutende Grenzinvestition, noch eine wenig ins Gewicht fallende Finanzierungsart für diesen Test in Frage kommen. Deshalb sollte die Grenzinvestition aus dem Bereich der Anpassungs- und Gestaltungsinvestitionen entnommen werden. Als Grenzfinanzierung sollte eine langfristige Kapitalbeschaffung herangezogen werden.

In der Praxis hilft man sich vielfach dadurch, daß man einen Zinssatz festlegt, unter dem die Rentabilität der Investitionen nicht liegen darf. Dieser Zinssatz kommt dadurch zustande, daß man die Kosten der Finanzierung bereits kennt, ehe das Finanzierungsvolumen feststeht. Man weiß z.B., daß man weitere Mittel in einem Ausmaß, welches über die Nachfrage nach Investitionskapital hinausgeht, zu 6% beschaffen kann. Infolgedessen müssen die Rentabilitätskennziffern der Investitionen über diesem Satz liegen. Die Überprüfung des Investitionsvolumens kann in solchen Fällen unterbleiben, weil man bei jeder einzelnen Investition bereits feststellen kann, ob der Grenzzinssatz erreicht wird oder nicht.

Abschließend können wir sagen, daß die Modelle zur Aufstellung eines Investitionsprogramms auf der Grundlage der internen-Zinsfuß-Methode eine geeignete Basis für die praktische Investitionsplanung sind. Die Gegebenheiten der Wirklichkeit lassen keine bis ins Einzelne gehende Übertragung der Modelle auf die Investitionsplanung zu. Mit ihrer Hilfe sind wir aber in der Lage, die Grundprinzipien der Investitionsplanung zu erkennen und in der Praxis zu realisieren.

Z W E I T E R T E I L

Die Investitionsplanung

mit Hilfe

der Linearen Planungsrechnung

Vorbemerkungen

Die in den vorangegangenen Abschnitten¹⁷¹⁾ beschriebenen Lösungsverfahren zur Aufstellung von Investitionsprogrammen sind mehr oder weniger schwerfällige Probierrmethoden. Sie stellen aber die konsequente Weiterentwicklung derjenigen Modelle dar, die sich nur mit Einzelprojekten befassen. Die Literatur hat diese Entwicklungsphase gewissermaßen übersprungen. So wandte sich z.B. Albach in seinem Buch "Investition und Liquidität" gleich einer eleganteren Lösungsmethode zu. Diese Methode beruht auf der Anwendung der Linearen Planungsrechnung bei der Aufstellung von Investitionsprogrammen. Albach hat sich dabei allerdings nur auf das Kapitalwert-Modell gestützt; diesem haften aber, wie wir mehrfach gezeigt haben, verschiedene Mängel an; sie werden auf diese Weise in das Planungsrechnungs-Modell mit übernommen.

Im folgenden werden wir davon absehen, erneut die Nachteile des Kapitalwert-Modells nachzuweisen. Wir werden vielmehr anhand dieses im Zusammenhang mit der Linearen Planungsrechnung zuerst angewandten Modells zunächst einmal beschreiben, auf welche Weise man sich bei der Investitionsplanung die Planungsrechnung zunutze machen kann. Es soll aber anschließend auch ein Modell der Linearen Planungsrechnung aufgestellt werden, das auf der Internen-Zinsfuß-Methode aufbaut.

Zur Lösung der linearen Modelle stehen wirkungsvolle Rechenverfahren zur Verfügung. Sie haben allerdings den Nachteil, daß sich als Resultat gebrochene Werte ergeben können. Im Falle der Investitionsplanung besteht aber das Problem darin, Anzahl und Art der zu realisierenden Projekte zu ermitteln; in diesem Zusammenhang sind nur ganzzahlige Lösungen sinnvoll. Die ganzzahligen Rechenverfahren sind aber noch nicht soweit entwickelt, daß mit vertretbarem Rechenaufwand Proble-

171) Vgl. unsere Ausführungen S. 145-210.

me vom Umfang der Investitionsmodelle gelöst werden könnten. Man wird also bei der praktischen Lösung der Investitionsplanung vorerst auf die von uns dargestellten Probierrmethoden angewiesen sein. Die Erweiterung der Investitionsmodelle durch die Anwendung der Linearen Planungsrechnung bleibt damit sozusagen auf halbem Wege stehen. Dennoch sollen hier die letzten Schritte bis zum gegenwärtigen Stand der Entwicklung verfolgt werden. Dadurch ergibt sich ein abgerundetes Bild der betriebswirtschaftlichen Investitionstheorie. Die folgenden Ausführungen sind aber dadurch beim heutigen Stand der Dinge nur von theoretischem Interesse.

A. Die Grundlagen zur Anwendung der Linearen Planungsrechnung auf Investitionsmodelle

Seit der Entwicklung einer brauchbaren und einfachen Methode zur Lösung linearer Programme durch Dantzig¹⁷²⁾, der Simplex-Methode, hat sich der Anwendungsbereich des Linear Programming ständig ausgedehnt. Auch die Investitionstheorie befasst sich mit Modellen, deren Problemstruktur dem Linear Programming entspricht¹⁷³⁾. Die Lösungsmethoden sind insoweit anwendbar. Die Investitionstheorie muß aber zweifellos auch Modellarten behandeln, deren Problemstruktur nicht mehr mit den Voraussetzungen zur Anwendbarkeit der

172) Vgl. Riley, Vera and Gass, Saul J., Linear Programming and Associated Techniques (A Comprehensive Bibliography on Linear, Nonlinear and Dynamic Programming), Chevey Chase (Maryland) 1958, S. 4, und die Literatur auf S. 51. Garvin, Walter W., Introduction to Linear Programming, New York-Toronto-London 1960, S. VIII.

173) Der erste Ansatz, der über die Form eines einfachen Beispiels hinausgeht, stammt unseres Wissens von Massé, Pierre, Le Choix des Investissements, Paris 1959. Massé beschränkt sich allerdings auf den Fall der Kapitalrationierung.

Linearen Planungsrechnung¹⁷⁴⁾ übereinstimmt. Solche Fälle sind z.B. gegeben, wenn der Gesamtkapitalwert eines aus mehreren Maschinen bestehenden Programms nicht mit der Summe der Einzelkapitalwerte von allen im Programm enthaltenen Maschinen übereinstimmt. Bei einer derartigen Verbundenheit der Investitionen wird gegen die Additivitätsbedingung¹⁷⁵⁾ verstoßen. Andererseits sind jedoch viele Fälle, bei denen eine Verknüpfung zwischen den Variablen besteht, durchaus mit Hilfe des Linear Programming lösbar. Es kommt hierbei allerdings auf eine geschickte Übersetzung der Modellwirklichkeit in ein adäquates lineares Programm an. Die Anwendung der Linearen Planungsrechnung auf Investitionsmodelle stellt insofern nur ein Glied in der Kette der Modell-erweiterungen dar, dem allerdings bis jetzt noch keine weiteren Glieder angefügt worden sind.

Bei der Beurteilung der Bedeutung der Investitionsmodelle, die durch Methoden der Linearen Planungsrechnung gelöst werden, ist zu beachten, daß wir uns auch hier im Rahmen der Theorie deterministischer Modelle bewegen. Die Ergebnisse können niemals besser sein, als die Ausgangsdaten, deren Beschaffung immer die Hauptschwierigkeit bei der Anwendung der Investitionsmodelle in der Praxis bildet. Das mag auch der Grund dafür sein, warum die Anwendung dieser Operations Research-Methoden bei Investitionsplanungen in der Theorie nicht besonders betont wird und in der Praxis ganz in den Hintergrund tritt.

174) Vgl. zu den Voraussetzungen Dantzig, George B., The Programming of Interdependent Activities: Mathematical Model, In: Koopmans, Tjalling C. (Hrsg.), Activity Analysis of Production and Allocation, Proceedings of a Conference, New York-London 1951, S. 19-32, hier S. 19 und 20, ferner Churchman, C. West, Ackoff, Russel L., Arnoff, E. Leonhard, Operations Research, Wien und München 1961, S. 258 f.

175) Koopmans, Tjalling C., Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities, In: Koopmans, Tjalling C. (Hrsg.) Activity Analysis ..., S. 33-97, hier S. 36 und Dantzig, George B., a.a.O., S. 20.

Das typische lineare Programm kann in mathematischer Ausdrucksweise sehr einfach beschrieben werden: Einer Anzahl Unbekannter sind Werte in der Art zuzuordnen, daß die Multiplikation mit den zugeordneten Koeffizienten der Zielfunktion ein Maximum ergibt und daß gleichzeitig die Multiplikation mit anderen zugeordneten Koeffizienten vorgegebene Grenzen nicht überschreitet¹⁷⁶⁾.

Auf die mathematische Form und Schreibweise eines typischen linearen Programms können wir im Rahmen dieser Arbeit nicht eingehen. Wir müssen hier auf die Lehrbücher über Operations Research verweisen¹⁷⁷⁾. Derartige Programme können mit Hilfe der Simplex-Methode und ihrer Verfeinerungen gelöst werden. Gelingt es also, ein ökonomisches Problem in die Form eines linearen Programms zu bringen, so bietet dessen Lösung keine Schwierigkeiten mehr. Es handelt sich jedoch nur dann um eine Lösung, wenn das ökonomische Problem tatsächlich im linearen Programm seinen Niederschlag findet, wenn das Modell

176) Vgl. Manne, Alan S., Economic Analysis for Business Decisions, New York-Toronto-London 1961, S. 22 und 23, Sommer, Friedrich, Einführung in die Mathematik für Studenten der Wirtschaftswissenschaften, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1962, S. 76.

177) Als Lehrbücher über das gesamte Gebiet der Operations Research sei besonders auf Churchman, C. West, Ackoff, Russel L. und Arnoff, Leonard E., Operations Research, S. 257-314 und Sasieni, Maurice, Yaspan, Arthur und Friedman, Laurence, Methoden und Probleme der Unternehmensforschung, Würzburg 1962, S. 227-255, verwiesen. Zur Vektoren- und Matrizen Schreibweise, die häufig bei der Darstellung linearer Programme angewandt wird, vgl. Klingst, A., Einführung in die Matrizenrechnung, In: Anwendung der Matrizenrechnung auf wirtschaftliche und statistische Probleme, Würzburg 1959, S. 9 und S. 17, Sommer, S. 87 und S. 95. Als Spezialliteratur für die lineare Planungsrechnung und ihre Verfeinerungen vgl. Garvin, Walter, Introduction to Linear Programming. Zur Beweisführung der richtigen Lösung eines linearen Programms wird das duale Programm herangezogen; Eine leicht verständliche Darstellung der Beziehung zwischen primalem und dualem Programm in der deutschen Literatur findet sich bei Wenke; vgl. Wenke, Klaus, Zur Kalkulation von Kuppelprodukten, In: ZfB, 31. Jg. (1961), S. 11-29, bes. S. 16.

ein isomorphes¹⁷⁸⁾ Abbild der Wirklichkeit darstellt. Es ist die Aufgabe ökonomischer Analysen, festzustellen, wann das der Fall ist.

Wendet man diese Grundgedanken auf den Zusammenhang zwischen Investitionsmodell und Linear Programming an, so ist eine der wichtigsten Voraussetzungen, daß zwischen der Zielgröße, z.B. dem maximalen Kapitalwert, und den Unbekannten eine lineare Abhängigkeit bestehen muß. Der Gesamtkapitalwert für einen Maschinentyp muß sich verdoppeln, wenn die Anzahl der Maschinen dieses Typs verdoppelt wird. Entsprechendes gilt für die Nebenbedingungen. Bringt die zweite Maschine eines Maschinentyps einen anderen Kapitalwert als die erste, so kann diese nicht mehr mit dem gleichen Symbol in das lineare Programm eingeführt werden. Sie muß als selbständiges Projekt behandelt werden.

Wir wollen nun anhand der Beispiele zur Aufstellung eines Investitionsprogramms aus dem ersten Teil der Arbeit (S.145) die Übersetzung in isomorphe lineare Programme vornehmen und auftretende Besonderheiten dabei erörtern.

B. Die Bestimmung eines einzelnen Investitionsprogramms (einstufiges Modell)

Vorbemerkungen

Die im ersten Teil der Arbeit behandelten einstufigen Modelle konnten einschließlich der Modelle zur Bestimmung der Nutzungsdauer mit traditionellen Hilfsmitteln gelöst werden. Sie bleiben im folgenden unberücksichtigt. Erst die Modelle, bei denen mehrere Anlagemöglichkeiten in einem Investitionsprogramm zusammenzufassen sind, enthalten die für die Lineare Planungsrechnung typischen Aufgabestellungen. Wir gehen im folgenden in der gleichen Reihenfolge vor wie in Abschnitt B.I.¹⁷⁹⁾, schalten allerdings die Modelle mit einem unbe-

178) Vgl. Kosiol, Erich, S. 321.

179) Vgl. unsere Ausführungen S. 145 ff.

grenzten Kapitalangebot zum einheitlichen Zinssatz aus, weil sie ebenfalls mit traditionellen Hilfsmitteln lösbar sind, soweit nicht mehr als zwei sonstige Engpässe vorliegen.

I. Das optimale Investitionsprogramm nach der Kapitalwert-Methode

1. Das Investitionsprogramm bei Kapitalrationierung

a) Die Programmbestimmung bei voneinander unabhängigen Investitionen (Beispiel I)

Das Beispiel (vgl. S. 151 ff.) enthält die Investitionsmöglichkeiten (Maschinen a bis k), denen je ein Kapitalwert zugeordnet ist und für die die Anschaffungskosten gegeben sind (vgl. Tabelle 4, S. 152). Jede Investition kann nur einmal vorgenommen werden. Die x_i können daher höchstens den Wert 1 (Gleichung (3)) annehmen. Es steht ein Budget zur Verfügung (DM 150.-), das nicht zur Durchführung aller Investitionen ausreicht.

Das zugehörige Programm hat die Form

$$(1) \quad 80 x_1 + 70 x_2 + 60 x_3 + 50 x_4 \dots + 20 x_{10} = \max !$$

$$(2) \quad 50 x_1 + 50 x_2 + 50 x_3 + 40 x_4 \dots + 10 x_{10} \leq 150$$

$$(3) \quad x_1, x_2, \dots, x_{10} \leq 1$$

$$(4) \quad x_1, x_2, \dots, x_{10} \geq 0$$

Anhand dieses linearen Programms¹⁸⁰⁾ kann man das optimale nichtganzzahlige Investitionsprogramm errechnen. Da aber

180) Es handelt sich hier um das sogenannte Knapsack-Problem (= Rucksack-Problem). Bei diesem Problem stehen Güter mit unterschiedlichem relativem Nutzen zur Verfügung; es sollen diejenigen Güter bestimmt werden, die einen Rucksack von gegebener Größe füllen und gleichzeitig den höchsten Nutzen bringen. Ein Gut wird dabei entweder in der vorher festgesetzten Menge oder überhaupt nicht mitgenommen. Vgl. zum Knapsack-Problem
Fortsetzung der Fußnote auf S. 237.

eine ganzzahlige Lösung verlangt wird, ist das Modell erst adäquat, wenn

$$(5) \quad x_1, x_2, \dots, x_{10} \text{ ganzzahlig!}$$

als Nebenbedingung eingeführt wird. Sind die Investitionsmöglichkeiten beliebig teilbar, so genügen zur Lösung die Gleichungen (1) bis (4). Wir haben festgestellt, daß für das Beispiel I ganzzahlige und nichtganzzahlige Lösungen auf traditionellem Weg leicht zu finden sind (s.S. 152 ff.). Die Anwendung der Linearen Planungsrechnung ist bei diesem und ähnlichen einfachen Beispielen noch nicht erforderlich.

b) Die Programmbestimmung unter Beachtung zweier Engpässe (Beispiel II)

In Beispiel II (vgl. S. 154-168) stehen für drei Abteilungen A, B und C je drei Maschinen zur Auswahl. Die Produkte der Abteilungen sind voneinander unabhängig. Kapitalwert, Mengenausstoß und Anschaffungskosten pro Maschine stehen fest. Es ist ein festes Budget vorgegeben und der Absatz der drei Erzeugnisarten ist begrenzt. Das zugehörige lineare Programm hat die Gestalt

$$\begin{aligned} & c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3 \\ (1) \quad & + c_4 x_4 + c_5 x_5 + c_6 x_6 \\ & + c_7 x_7 + c_8 x_8 + c_9 x_9 = \max! \\ (2) \quad & a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + a_{31}x_3 \dots + a_{91}x_9 \leq b_1 \\ (3) \quad & a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + a_{32}x_3 \leq b_2 \\ (4) \quad & a_{63}x_4 + a_{35}x_5 + a_{63}x_6 \leq b_3 \\ (5) \quad & a_{74}x_7 + a_{84}x_8 + a_{94} + x_9 \leq b_4 \\ (6) \quad & x_1, \dots, x_9 \geq 0, \text{ ganzzahlig.} \end{aligned}$$

Fortsetzung der Fußnote 180) von S. 236
Dantzig, George B., Linear Programming and Extensions,
Princeton N.J. 1963, S. 517.

c_i ($i = 1, \dots, 9$) sind die den Maschinentypen zugeordneten Kapitalwerte, a_{i1} ($i = 1, \dots, 9$) die Anschaffungskosten, a_{i2} , a_{i3} und a_{i4} die Kapazitäten der i -ten Anlage, b_1 ist das Budget, b_2 , b_3 und b_4 sind die Mengen der Produkte, die die drei Abteilungen höchstens absetzen können.

Die Formulierung des Programms läßt erkennen, daß die Zielfunktion (1) und die erste Nebenbedingung (2) alle Maschinentypen betrifft, die Nebenbedingungen (3), (4) und (5) dagegen die Typen der drei Abteilungen jeweils getrennt führt. Es wäre falsch, das Budget b_1 von vornherein nach irgendwelchen Gesichtspunkten auf die Abteilungen zu verteilen. Erst das Ergebnis gibt Auskunft darüber, welcher Budgetanteil auf die einzelne Abteilung (bzw. das Erzeugnis) und innerhalb der Abteilung auf den Maschinentyp entfällt.

Das Beispiel II ist noch mit traditionellen Hilfsmitteln lösbar. Das nichtganzzahlige optimale Programm kann ebenso mit Hilfe der Simplex-Methode einfach und schnell errechnet werden. Bei der Ermittlung des ganzzahligen Lösungsprogramms dürfte das traditionelle Verfahren schneller zum Ziel führen.

c) Die Programmbestimmung unter Beachtung mehrerer Engpässe (Beispiel III)

In Beispiel III (vgl. S. 169-177) stehen drei Maschinentypen zur Auswahl, die unterschiedliche Stückzahlen von Produkt I und Produkt II (Kuppelproduktion) liefern und die die Engpässe Kapital, Raum und Arbeitskräfte jeweils in unterschiedlichem Ausmaß beanspruchen. Das lineare Programm kann in der Form

$$\begin{array}{ll} (1) & 50 x_1 + 80 x_2 + 150 x_3 = \max! \\ (2) & 200 x_1 + 500 x_2 + 1.000 x_3 \leq 6.000 \text{ (Engpaß Kapital)} \\ (3) & 20 x_1 + 15 x_2 + 10 x_3 \leq 160 \text{ (Engpaß Arbeitskräfte)} \\ (4) & 10 x_1 + 9 x_2 + 20 x_3 \leq 150 \text{ (Engpaß Raum)} \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} (5) & 2 x_1 + 3 x_2 + 5 x_3 & \leq 40 \text{ (Engpaß Absatz Prod. 1)} \\ (6) & 3 x_1 + 5 x_2 + 7 x_3 & \leq 60 \text{ (Engpaß Absatz Prod. 2)} \\ (7) & x_1, x_2, x_3 & \geq 0, \text{ ganzzahlig!} \end{array}$$

geschrieben werden. Es ist ein typisches Programm im oben erläuterten Sinne. Die Lösung weist gegenüber der von Beispiel II keine zusätzlichen Schwierigkeiten auf.

Eine Auffindung des nichtganzzahligen optimalen Programms ist mit traditionellen Hilfsmitteln nicht mehr möglich. Das ganzzahlige Programm kann jedoch noch ermittelt werden. Experimente müssten beweisen, ob dabei traditionelle Hilfsmittel oder eine ganzzahlige Lösungsmethode der Linearen Planungsrechnung einfacher ist.

d) Die Programmbestimmung unter Beachtung mehrerer Engpässe und der Einbeziehung von Ersatzinvestitionen (Beispiel IV)

Das Beispiel IV baut auf Beispiel III auf (vgl. S. 169-180). Zur Auswahl stehen nach zwei Jahren

1. die Weiterverwendung der Maschinentypen 2 und 3 (x_2 und x_3),
2. die Neuanschaffung der gleichen Typen (1, 2 und 3), die schon vor zwei Jahren auf dem Markt angeboten wurden (x_4 , x_5 , x_6),
3. die Anschaffung einer Neukonstruktion (x_7).

Die betrieblichen Engpässe haben sich nicht verändert. Zur Neuinvestition stehen 2.000.- DM zur Verfügung.

Das zugehörige lineare Programm hat die Form:

- (1) $30 x_2 + 60 x_3 + 50 x_4 + 80 x_5 + 150 x_6 + 200 x_7 = \max!$
- (2) $x_2 \leq 5$ (Engpaß: bisheriges Programm)
- (3) $x_3 \leq 5$ (Engpaß: bisheriges Programm)
- (4) $100 x_4 + 250 x_5 + 500 x_6 + 1.200 x_7$
 ≤ 2.000 (Engpaß: Kapital)
- (5) $15 x_2 + 10 x_3 + 20 x_4 + 15 x_5 + 10 x_6 + 8 x_7$
 ≤ 160 (Engpaß: Arbeitskräfte)
- (6) $9 x_2 + 20 x_3 + 10 x_4 + 9 x_5 + 20 x_6 + 20 x_7$
 ≤ 150 (Engpaß: Raum)
- (7) $3 x_2 + 5 x_3 + 2 x_4 + 3 x_5 + 5 x_6 + 6 x_7$
 ≤ 40 (Engpaß: Absatzmenge Produkt 1)
- (8) $5 x_2 + 7 x_3 + 3 x_4 + 5 x_5 + 7 x_6 + 8 x_7$
 ≤ 60 (Engpaß: Absatzmenge Produkt 2)
- (9) $x_2, \dots, x_7 \geq 0$, ganzzahlig.

Die bereits vorhandenen Maschinen beanspruchen den Engpaß Kapital nicht, die übrigen Engpässe jedoch in gleichem Maße wie bisher. Als Nebenbedingung muß aber eingeführt werden, daß ihre Anzahl im neuen Programm die der vorhandenen zwar unter-, jedoch nicht überschreiten darf. Vernachlässigt man diese Nebenbedingungen (Ungleichung (2) und (3), so kann das Ergebnis unbrauchbar werden.

Das Programm enthält keine weiteren Besonderheiten.

e) Die Programmbestimmung unter Beachtung mehrerer Engpässe und der Liquidität der Folgeperioden (Beispiel V)

Beispiel V (vgl. S. 181-186) bezieht außer den Engpässen Kapital und Absatz die Liquidität (Rückflüsse z_1) der nächsten drei Perioden ein. Drei Maschinentypen x_1 stehen zur Auswahl. Gegeben sind deren Kapitalwerte, die Produktionszahlen in jeder Periode und die Überschüsse an flüssigen Mitteln, die rentabel (d.h. über dem Kalkulati-

onszinsfuß) angelegt werden können¹⁸¹⁾. Der Kapitalwert pro 1 DM Überschußanlage beträgt 0,05 DM im ersten, 0,04 DM im zweiten und 0,03 DM im dritten Jahr. Die Überschüsse dürfen nicht in die Folgeperioden übernommen werden.

Das zugehörige Modell muß folgendermaßen formuliert werden:

$$(1) \quad 206 x_1 + 302,9 x_2 + 419 x_3 + 0,05 z_1 + 0,04 z_2 + 0,03 z_3 = \max !$$

$$(2) \quad 250 x_1 + 500 x_2 + 1.200 x_3 + 1 z_1 = 3.000 \quad (\text{Engpaß: Kapital})$$

$$(3) \quad 80 x_1 - 20 x_2 + 100 x_3 + 1 z_2 = 0 \quad (\text{Liquidität d. 2. Periode})$$

$$(4) \quad 60 x_1 + 150 x_2 + 80 x_3 + 1 z_3 = 0 \quad (\text{Liquidität d. 3. Periode})$$

$$(5) \quad 5.000 x_1 + 7.000 x_2 + 8.000 x_3 \leq 40.000 \quad (\text{Absatz der 1. Periode})$$

$$(6) \quad 4.500 x_1 + 7.000 x_2 + 7.000 x_3 \leq 40.000 \quad (\text{Absatz der 2. Periode})$$

$$(7) \quad 4.000 x_1 + 7.000 x_2 + 6.000 x_3 \leq 40.000 \quad (\text{Absatz der 3. Periode}).$$

$$(8) \quad x_1, x_2, x_3, z_1, z_2, z_3 \geq 0$$

Die x-Werte der Lösung müssen ganzzahlig sein, während die z-Werte gebrochen sein können. Zur richtigen Berechnung sind daher gemischtganzzahlige Methoden erforderlich¹⁸²⁾.

181) Vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, S. 139, Fußnote 93.

182) Vgl. hierzu die Grundgedanken und Anwendungsgebiete bei Dinkelbach, W. und Hax, H[erbert], Die Anwendung der gemischt ganzzahligen linearen Programmierung auf betriebswirtschaftliche Entscheidungsprobleme, ZfhF, NF, 14. Jg. (1962), S. 179-196. Zur Auffindung ganzzahliger Lösungen gibt es mehrere Verfahren, die Fortsetzung der Fußnote S. 242.

Nimmt man die rentable Anlage der Rückflüsse aus den Investitionsvorhaben nicht in die Zielfunktion auf, so kann die Lösung nicht optimal werden, weil das Programm unvollständig ist. Der allgemeine Lösungsansatz bei Albach¹⁸³⁾ trifft also für sein Beispiel¹⁸⁴⁾ nicht zu.

Der Lösungsansatz beweist, daß man ohne weiteres die Aufrechterhaltung der Liquidität über mehrere Perioden hinweg in ein lineares Programm aufnehmen kann (Gleichungen (3) und (4)). Das gleiche gilt für die Absatzmöglichkeiten in den Folgeperioden.

Will man Bestände an liquiden Mitteln oder Erzeugnissen in die Folgeperioden übernehmen, so muß dies in den Nebenbedingungen zum Ausdruck kommen. Sollten in unserem Beispiel die Finanzüberschüsse nicht abgeführt, sondern als Kasse gehalten und in die nächste Periode übertragen werden, so hat das lineare Programm folgende Gestalt:

$$\begin{aligned}(1) \quad & 206 x_1 + 302,9 x_2 + 419 x_3 = \max \\(2) \quad & 250 x_1 + 500 x_2 + 1.200 x_3 \leq 3.000 \\(3) \quad & - 80 x_1 + 20 x_2 - 100 x_3 \leq 3.000 - (250 x_1 + 500 x_2 \\& \quad \quad \quad + 1.200 x_3) \\(4) \quad & - 60 x_1 - 150 x_2 - 80 x_3 \leq [3.000 - (250 x_1 + 500 x_2 \\& \quad \quad \quad + 1.200 x_3)] \\& \quad \quad \quad - (80 x_1 - 20 x_2 \\& \quad \quad \quad + 100 x_3)\end{aligned}$$

Fortsetzung der Fußnote 182) von S. 241:
allerdings schon bei wenigen Variablen einen ganz erheblichen Rechenaufwand erfordern. Vgl. hierzu Gomory, Ralph, E., An All-Integer Programming Algorithm. In: J.F. Muth und G.L. Thompson (Hrsg.), Industrial Scheduling, Englewood Cliffs (N.J.) 1963, S. 193-203 und Healy, W.C., Multiple Choice Programming, In: Operations Research, Vol. 12 (1964), S. 122-138. Vgl. auch die auf S. 276 angegebene Literatur.

183) Vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, S. 309.

184) Vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, S. 139.

Die Ungleichungen (5), (6) und (7) bleiben dieselben. Die Nichtnegativitätsbedingung beschränkt sich auf die x -Werte, weil die z -Werte wegfallen¹⁸⁵⁾. Der jeweilige Kassenbestand wird simultan mit den x -Werten bestimmt, d.h. er ist programmabhängig. Die Bestände sind darauf zurückzuführen, daß die Einnahmen zeitlich und größenmäßig nicht mit den Ausgaben in Übereinstimmung gebracht werden können. Es handelt sich in solchen Fällen um eine Transaktionskasse¹⁸⁶⁾. Nimmt man nun an, daß unabhängig von der zwangsläufig sich ergebenden Transaktionskasse eine Sicherheitskasse gehalten wird, um die innerhalb einer Periode auftretenden möglichen Ausgabenüberhänge vorübergehend auszugleichen (der Programmansatz gewährleistet ja nur, daß die Summe der Periodenausgaben die der Periodeneinnahmen nicht übersteigt), so ergeben sich nebeneinander ein Sicherheits- und ein Transaktionsbestand. Will man beide miteinander in Verbindung bringen, weil man beispielsweise bei hohem Transaktionsbestand glaubt, auf den Sicherheitsbestand verzichten zu können, so kann man diese Aufgaben nicht mehr mit Hilfe eines typischen linearen Programms lösen. Setzt man nämlich den geforderten Sicherheitsbestand in das Programm ein, so ergibt sich außerdem eine Transaktionskasse, die z.B. unerwünscht hoch sein kann. Setzt man daraufhin keinen Sicherheitsbestand in das Programm ein, so kann z.B. die Transaktionskasse unter dem gewünschten Bestand liegen. Hier stößt also die Modellerweiterung auf bestimmte Grenzen.

185) Zur allgemeinen Form dieses Modells in Vektorschreibweise vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, S. 310 und 311.

186) Vgl. hierzu Orth, Ludwig, S. 76-88, bes. S. 79 und 80 sowie die dort angegebene Literatur.

2. Das Investitionsprogramm bei Kapitalangebot zu unterschiedlichen Zinssätzen

a) Die Programmbestimmung bei unveränderlichen sonstigen Engpässen

Soll das Modell in der Art erweitert werden, daß statt des festen Budgets Kapitalaufnahme-Möglichkeiten und die mit ihnen verbundenen Kosten berücksichtigt werden, so muß die Zielfunktion entsprechend ergänzt werden: Zu der unbekannten Maschinenanzahl der jeweiligen Maschinentypen kommt die unbekannte Höhe der jeweiligen Kapitalbeschaffungsart hinzu. In die Nebenbedingungen, die das finanzielle Gleichgewicht gewährleisten sollen, ist die Liquiditätswirkung der aufzunehmenden Kapitalien einzusetzen.

Stehen z.B. 3 Maschinen x_1 , x_2 und x_3 zur Wahl und können außer den vorhandenen Mitteln b_1 die Kredite y_1 , y_2 und y_3 aufgenommen werden, so errechnet man, genau wie bei den Maschinen, den Kapitalwert pro Einheit des Kredits. Die Zielfunktion kann dann in der Form

$$(1) \quad c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3 + v_1 y_1 + v_2 y_2 + v_3 y_3 = \max!$$

geschrieben werden, wobei c_1 , c_2 und c_3 die Kapitalwerte der Investitionsmöglichkeiten und v_1 , v_2 und v_3 die Kapitalwerte der Kredite darstellen. Die Kapitalwerte der Kredite sind negativ, wenn der Kalkulationszinsfuß unter dem Kreditzinssatz liegt.

Die Nebenbedingungen, welche die Liquidität in jeder Periode gewährleisten, müssen die Zins- und Rückzahlungsmodalitäten pro Einheit des jeweiligen Kredits enthalten.

Hierzu ein Beispiel: Angenommen, der Kredit y_1 (Höchstbetrag 2.000) kostet 7% Zinsen und ist in der 3. Periode voll zurückzuzahlen, y_2 (Höchstbetrag 3.000) kostet 8%, volle Rückzahlung in der 2. Periode und y_3 (Höchstbetrag 4.000)

kostet 9% Zinsen, die Rückzahlung liegt außerhalb des Planungszeitraums. Die Maschinen haben Anschaffungskosten in Höhe von $x_1 = 250$, $x_2 = 500$, $x_3 = 1.200$. Es stehen 3.000.- DM eigene Mittel zur Verfügung. Die Planungsperiode beträgt 3 Jahre. Die Rückflüsse, die auf die Maschinen entfallen, betragen in der zweiten Periode für $x_1 = 80$ DM, für $x_2 = 20$, $x_3 = 100$, in der dritten Periode für $x_1 = 60$, für $x_2 = 150$, für $x_3 = 80$ DM¹⁸⁷⁾. Die Periodenüberschüsse sollen als Kasse gehalten werden. Die Nebenbedingungen für dieses Beispiel haben dann die Form

- $$\begin{aligned}
 (2) \quad & 250 x_1 + 500 x_2 + 1.200 x_3 \\
 & \leq 3.000 + 0,93 y_1 + 0,92 y_2 + 0,91 y_3 \\
 (3) \quad & - 80 x_1 + 20 x_2 - 100 x_3 + 0,07 y_1 + 0,08 y_2 + y_2 \\
 & + 0,09 y_3 \leq (3.000 + 0,93 y_1 + 0,92 y_2 + 0,91 y_3) \\
 & - (250 x_1 + 500 x_2 + 1.200 x_3) \\
 (4) \quad & - 60 x_1 - 150 x_2 - 80 x_3 + 0,07 y_1 + y_1 + 0,09 y_3 \\
 & \leq [(3.000 + 0,93 y_1 + 0,92 y_2 + 0,91 y_3) \\
 & - (250 x_1 + 500 x_2 + 1.200 x_3)] \\
 & - [- 80 x_1 + 20 x_2 - 100 x_3 + 0,07 y_1 + 0,08 y_2 \\
 & + y_2 + 0,09 y_3] \\
 (5) \quad & y_1 \leq 2.000 \\
 (6) \quad & y_2 \leq 3.000 \\
 (7) \quad & y_3 \leq 4.000 \\
 (8) \quad & x_1, x_2, x_3 \geq 0, \text{ ganzzahlig!}
 \end{aligned}$$

Die Ungleichungen (2), (3) und (4) bringen das finanzielle Gleichgewicht der Perioden 1, 2 und 3 zum Ausdruck. Die Ungleichungen (5), (6) und (7) betreffen die Begrenzungen der drei Kreditarten.

¹⁸⁷⁾ Daten wie in Beispiel V.

In den Ungleichungen (2), (3) und (4) sind nicht nur die Ausgaben für die Maschinen enthalten, sondern auch die von den einzelnen Maschinentypen zu erwartenden Rückflüsse sowie der Geldzufluß durch die Kreditaufnahme, die Zinsen und die Tilgung der Kredite y_2 und y_1 . Durch die Annahme der Kassenhaltung (Übertragung von eventuellen Überschüssen in die Folgeperiode) müssen in die rechte Seite der Ungleichungen jeweils die Einnahmen und Ausgaben aller Vorperioden eingesetzt werden, weil deren Differenz erst den Kassenbestand ergibt. Je mehr Perioden im Modell enthalten sind, um so umfangreicher werden die Nebenbedingungen.

Das Modell setzt voraus, daß mit dem Ausgleich der Einnahmen und Ausgaben im Laufe einer Periode auch die Liquidität für jeden Zeitpunkt innerhalb der Periode gewahrt ist.

Die Lösung des Ansatzes muß mit Hilfe von gemischt ganzzahligen Rechenmethoden erfolgen.

b) Die Programmbestimmung bei veränderlichen sonstigen Engpässen

Die bisherigen Ansätze, die (abgesehen von der Berücksichtigung der Anlage von Transaktionsbeständen im Modell ohne Kassenhaltung) auch bei Albach behandelt werden, beziehen nur die Erweiterung des Engpasses Kapital in das Modell ein. Die Ausdehnungsmöglichkeiten anderer Engpässe müßte ebenfalls möglich sein. Stellt man sich beispielsweise vor, die teilweise oder völlige Beseitigung des Engpasses Raum wäre durchführbar, und nimmt man an, die teilweise Beseitigung r_1 koste 1.000, die vollkommene Beseitigung r_2 koste 2.400 DM (diskontierte Ausgaben), so müßte man analog der Behandlung des Engpasses Kapital in die Zielfunktion die beiden Erweiterungsmöglichkeiten mit $- 1.000 r_1$ und $- 2.400 r_2$ aufnehmen. Gleichzeitig müßten sie mit den gleichen Koeffizienten in der Nebenbedingung erscheinen, die das finanzielle Gleichgewicht sichert. Mit anderen Koeffizienten, nämlich denen, die

Angaben über das zusätzliche Raumangebot der Aktion machen, wären r_1 und r_2 in die Restriktionen über den knappen Raum aufzunehmen. Schließlich müßte zum Ausdruck kommen, daß entweder r_1 oder r_2 und entweder r_1 ganz oder überhaupt nicht (r_2 ganz oder überhaupt nicht) durchgeführt werden. Das kann man dadurch erreichen, daß man die Nebenbedingungen

$$r_1 + r_2 \leq 1; \quad r_1, r_2 \geq 0; \quad r_1, r_2 \text{ ganzzahlig!}$$

eingführt.

Wird die Aktion r_1 oder die Aktion r_2 durchgeführt, so vermindert sich zunächst zweifellos durch die auftretenden Ausgaben der Gesamtkapitalwert. Die Aktion hat also nur Sinn, wenn dadurch eine Erhöhung der x -Werte (Maschinen) möglich wird, die diese Kapitalwerteinbuß wett macht, d.h. um mindestens eine kleine Geldeinheit übersteigt.

Gegenüber der Einbeziehung des Engpasses Kapital und dessen Ausdehnungsmöglichkeiten in das Modell weist die Aufnahme anderer Engpässe u.E. keine wesentlichen programmtechnischen Besonderheiten auf. Es eröffnet sich aber die Möglichkeit, alle langfristigen Überlegungen in das Modell einzubauen. Auf lange Sicht wird man nämlich bestrebt sein, alle Engpässe und nicht nur den Engpaß Kapital zu beseitigen bzw. deren Beseitigung zu prüfen.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß wir den Variablen r_1 und r_2 lediglich Ausgaben und keine Kapitalwerte zugeordnet haben. Das Problem der Zurechnung von Einnahmen ist dadurch wirkungsvoll umgangen.

Der Kapitalwert zu r_1 und r_2 ergibt sich erst im Zusammenhang mit der Ermittlung des optimalen Programms. Er könnte festgestellt werden, indem man einmal ein optimales Programm ohne die Einbeziehung der Aktionen r_1 und r_2 errechnet und zum anderen ein optimales Programm mit den Ausbaumöglichkeiten r_1 und r_2 . Die Differenz ergäbe den Kapital-

wert für r_1 oder r_2 . Wichtiger ist jedoch, daß dieser Wert beim Ansatz nicht gebraucht wird. Man kann also Investitionen (r_1 und r_2 sind als solche anzusehen) in das Programm aufnehmen, ohne ihnen Einnahmen zurechnen zu müssen, sobald eine andere lineare Beziehung über den Umweg eines Engpasses (hier Raum) zwischen den Größen, deren Kapitalwert man kennt (hier die Maschinen x_1, x_2, x_3) besteht¹⁸⁸). In unserem Beispiel beanspruchen die Maschinen pro Typ einen bestimmten Raum, während die Aktionen r_1 und r_2 zusätzlichen Raum schaffen.

Diese Feststellung erscheint uns wichtig, weil man bisher der Ansicht war, man könne nur solche Investitionen in ein Programm aufnehmen, deren Einnahmen und Ausgaben man kennt bzw. denen man Einnahmen und Ausgaben auf irgendeine Art zurechnet¹⁸⁹). Angenommen, die Maschinen x_1, x_2 und x_3 beanspruchen 10, 20 und 30 qm Raum, es ständen 150 qm zur Verfügung und Aktion r_1 bringe 50 qm, Aktion r_2 110 qm zusätzlichen Raum. Das Programm hat dann mit Kassenhaltung folgende Gestalt (die sonstigen Daten entsprechen dem Beispiel V):

$$(1) \quad c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3 + v_1 y_1 + v_2 y_2 + v_3 y_3$$

$$- g_1 r_1 - g_2 r_2 = \max!$$

(g_1 und g_2 sind die diskontierten Ausgaben für die Aktionen r_1 und r_2)

$$(2) \quad 250 x_1 + 500 x_2 + 1.200 x_3 + 1.000 r_1 + 2.400 r_2$$

$$\leq 3.000 + 0,93 y_1 + 0,92 y_2 + 0,91 y_3$$

188) Die Grundüberlegung zu unserem Ansatz stellt auch Albach an, allerdings in anderem Zusammenhang. Vgl. Albach, Horst, Investitionsentscheidungen in Mehrproduktunternehmen, S. 42 ff.

189) So z.B. Swoboda, Peter, Die Ermittlung optimaler Investitionsentscheidungen durch Methoden des Operations Research, ZfB, 31. Jg. (1961), S. 96-103, hier S. 97, und Albach, Horst, Zur Verbindung der Kapitalwert-Methode mit der Pay-off-Methode in der Investitionsrechnung, ZfB, 31. Jg. (1961), S. 297-300, hier S. 299.

An den Ungleichungen (3) bis (7) ändert sich gegenüber dem Ansatz in Abschnitt a) nichts. Hinzu treten die Ungleichungen

$$(8) \quad 10 x_1 + 20 x_2 + 30 x_3 \leq 150 + 50 r_1 + 110 r_2$$

$$(9) \quad r_1, r_2 \leq 1 \quad (r_1 \text{ und } r_2 \text{ können je nur einmal durchgeführt werden})$$

$$(10) \quad r_1 + r_2 \leq 1 \quad (r_1 \text{ und } r_2 \text{ schließen sich gegenseitig aus})$$

$$(11) \quad r_1, r_2 \text{ ganzzahlig! } (r_1, r_2 \text{ werden vollständig durchgeführt oder unterlassen})$$

Die Nichtnegativitätsbedingung gilt auch für r_1 und r_2 .

Zur Lösung dieses Programms sind gemischt ganzzahlige Rechenmethoden erforderlich.

II. Das optimale Investitionsprogramm nach der Internen-Zinsfuß-Methode

Die Programmaufstellung unterscheidet sich gegenüber der Programmaufstellung anhand der Kapitalwerte in der Zielfunktion. Statt der Kapitalwerte werden die jährlichen Zinserträge, d.h. die mit dem internen Zinsfuß multiplizierten Anschaffungsausgaben der Investitionen, als Koeffizienten eingesetzt. Bezeichnen wir die Zinserträge der einzelnen Investitionen mit d_i , so lautet die Zielfunktion:

$$\sum_{i=1}^{i=n} d_i x_i = \max!$$

An der Formulierung der Nebenbedingungen ändert sich gegenüber dem Kapitalwert-Modell nichts.

Bei variablem Kapitalangebot können als Koeffizienten der Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten die (negativen) internen Zinsfüße der einzelnen Beschaffungsmöglichkeiten direkt eingesetzt werden. Bezeichnet man die Menge der einzelnen Kapi-

talbeschaffungsmöglichkeiten mit y_i und die dazugehörigen internen Zinsfüße mit e_i , so lautet die vollständige Zielfunktion:

$$\sum_{i=1}^{i=n} d_i x_i - \sum_{i=1}^{i=n} e_i y_i = \max!$$

Sollen sonstige Engpaßerweiterungsmöglichkeiten in das Modell aufgenommen werden, denen man keine eigenen Einnahmen zurechnen kann, so ist eine Periodisierung der Ausgaben dieser Erweiterungsaktionen erforderlich. Die Periodisierung bringt insofern Schwierigkeiten mit sich, als es nicht ohne weiteres möglich ist, die Nutzungsdauer und den Zinssatz zu bestimmen, die bei der Umrechnung der Ausgaben einer Engpaßerweiterung in eine äquivalente uniforme Reihe zugrunde gelegt werden sollen. Deshalb wird es oft zweckmäßiger sein, die Erweiterungsaktionen mit den Projekten, welche von der Erweiterung begünstigt werden, zu neuen Projekten zusammenzufassen und in die Programmplanung aufzunehmen. Das führt allerdings in solchen Fällen zu Schwierigkeiten, bei denen es sich um einen gemeinsamen Engpaß für mehrere Vorhaben handelt. Besteht beispielsweise Raumknappheit und soll diese behoben werden, dann läßt sich der Raum meistens auf verschiedene Weise ausnutzen. Man kann die Raumerweiterungsinvestition nur jeweils einer ganzen Gruppe von Vorhaben zuordnen. Man müßte also mehrere Gruppen bilden und sie in das Programm aufnehmen. Dabei ist zu beachten, daß bestimmte Gruppen sich dann gegenseitig ausschließen werden. Wir können im Rahmen unserer Untersuchung nicht näher auf diesen Spezialfall eingehen.

Es sei noch kurz der Grundgedanke wiederholt, der uns berechtigt, vom jährlichen Zinsertrag bei der Formulierung der Zielfunktion auszugehen. Der interne Zinsfuß einer Investition ist der Ausdruck für den Rentenstrom, der pro Einheit Kapitaleinsatz erwirtschaftet wird. Wählt man diejenige Kombination aus, die den höchsten Zinsertrag bringt, so hat man gleichzeitig die Kombination mit dem stärksten Rentenstrom realisiert. Das setzt allerdings die identische Wiederholung

in dem von uns beschriebenen Sinne voraus.

C. Die Bestimmung mehrerer, aufeinander folgender optimaler Investitionsprogramme (mehrstufiges Modell)

I. Grundlagen der mehrstufigen Modelle

Die Investitionsplanung hat durch ihre weit in die Zukunft reichenden Auswirkungen langfristigen Charakter. Die bisher behandelten Modelle tragen diesem Umstand nur in geringem Umfang Rechnung, denn sie legen das Investitionsprogramm nur fest für die aktuellen Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten, d.h. für die derzeitigen Projekte, die in dem Zeitraum bis zur nächsten Programmaufstellung in Angriff genommen werden. Eine wesentliche Modellerweiterung ist dann gegeben, wenn man die zukünftigen Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten und die zukünftigen Engpässe einbezieht. Für die Aufrechterhaltung des finanziellen Gleichgewichts ist das zwar im bisher behandelten Ansatz bereits geschehen, aber nur für die Liquiditätswirkungen der Investitionen und nur für Kapitalbeschaffungsaktionen, die im ersten Jahr nach Beginn der Laufzeit durchgeführt werden. Es ist also zu unterscheiden zwischen solchen Modellen, deren Lösung ein einziges Programm darstellt (wobei auch die Wirkungen auf die nächsten Jahre berücksichtigt werden können) und solchen Modellen, deren Lösung mehrere aufeinander folgende Investitionsprogramme enthält. Letztere sollen im folgenden als mehrstufige Modelle bezeichnet werden¹⁹⁰⁾. Sie haben mit den einstufigen¹⁹¹⁾ Modellen gemein, daß der Kalkulationszeitpunkt übereinstimmt, der Betrachtungszeitraum hinsichtlich der Investi-

190) Albach spricht hier von dynamischen Modellen. Vgl. Albach, Horst, Investitionen und Liquidität, S. 316, S. 227.

191) Wir haben hier die Begriffe einstufig und mehrstufig anstelle von statisch und dynamisch verwandt. Es ist nämlich nicht eindeutig, ob die von Albach verwendete Begriffsbildung des statischen Modells mit der Begriffsbildung der Literatur übereinstimmt. Das als Fortsetzung der Fußnote S. 252

tions- und Finanzierungsmöglichkeiten jedoch einen größeren Zeitraum umfaßt. Wir gehen im folgenden vom allgemeinen Lösungsansatz Albachs aus und behandeln dann die einzelnen Komponenten des Ansatzes näher. Wir stellen insbesondere Überlegungen darüber an, mit welchen Kapitalwerten und Nutzungsdauern die Investitionsmöglichkeiten in das Modell eingehen und wie sich die Investitionen, die näher am Planungshorizont liegen, von denen, die in unmittelbarer Gegenwart realisiert werden können, im Programmansatz unterscheiden. Bei Albach tritt die Behandlung solcher Fragen in den Hintergrund, weil er von einem sehr einfachen Beispiel ausgeht und die grundsätzliche Modellformulierung in abgekürzter Schreibweise vornimmt. Zur richtigen Beurteilung der mehrstufigen Modelle scheint uns jedoch der Hinweis auf diese Fragen wichtig.

Bei vorausgesetzter Kenntnis der zukünftigen Entwicklung sind die Investitionsentscheidungen des einbezogenen Zeitraums durch das mehrstufige Modell festgelegt. Reicht die Kenntnis über die zukünftigen Daten nur wenig in die Zukunft hinein und sind die Daten über die weiter vom Kalkulationszeitpunkt entfernt liegenden erwarteten Geschehnisse unsicher, so ist die Lösung eines Modells nur im Kalkulationszeitpunkt richtig. Nach Ablauf einer Periode ist ein neuer

Fortsetzung der Fußnote 191) von S. 251

statisch bezeichnete Modell enthält Kapitalwerte, die simultan mit der wirtschaftlichen Nutzungsdauer ermittelt werden. Kapitalwertermittlung und Nutzungsdauerbestimmung sind dynamische Vorgänge. Sie sind aber auch Bestandteil der bei Albach als statisch bezeichneten Modelle. Insofern trifft der Begriff statisch nicht recht zu. Betrachtet man aber die Kapitalwertermittlung als vorgelagerte und nicht in das Modell eingeschlossene Aktion, kann man das Modell zur Ermittlung eines Investitionsprogramms zu recht als statisch bezeichnen. Vgl. zum Begriff statisch und dynamisch z.B. Samuelson, Paul A., Dynamic Process Analysis. In: A Survey of Contemporary Economics, edited by Howard S. Ellis, Philadelphia-Toronto 1949, S. 352-387, hier S. 354 und 356.

Modellansatz mit revidierten und neu hinzukommenden Daten aufzustellen. Man wird der in der Wirklichkeit gegebenen Unsicherheit jedoch dadurch gerecht, daß man mehrere deterministische Modelle jeweils nach Ablauf einer oder auch mehrerer Perioden (oder Teilperioden) einander folgen läßt.

1. Das mehrstufige Modell nach der Kapitalwert-Methode

Voraussetzung zur Anwendung der linearen Planungsrechnung für mehrstufige Modelle ist die Abgrenzung der Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten der einzelnen Perioden gegeneinander im Programmansatz; als Periode gilt dabei der Zeitraum zwischen zwei aufeinander folgenden Programmen, der im Normalfall ein Jahr beträgt. Soll z.B. die Möglichkeit geprüft werden, einen identischen Maschinentyp in der nächsten und/oder übernächsten Periode anzuschaffen, so muß dieser Maschinentyp als zwei Investitionsvorhaben x_1 und x_2 behandelt werden. Gleichzeitig müssen eventuell vorhandene Beziehungen zwischen x_1 und x_2 (es kann z.B. für x_2 kein Raum mehr vorhanden sein, wenn 4 Maschinen x_1 angeschafft werden) im Ansatz enthalten sein.

Im Zusammenhang mit der Aufstellung mehrstufiger Modelle taucht die Frage der Bestimmung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer erneut auf. In den einstufigen Modellen konnte man annehmen, daß vor der Formulierung des linearen Programms die Kapitalwerte der einzelnen Anlagemöglichkeiten simultan mit der Nutzungsdauer bestimmt werden. Die auf diese Art ermittelte wirtschaftliche Nutzungsdauer¹⁹²⁾ ist nicht mit der wirtschaftlichen Nutzungsdauer identisch, die im Rahmen eines mehrstufigen Modells maßgebend ist. Es sei kurz auf die Ursache dieser Erscheinung eingegangen. Im einstufigen Modell konkurrieren mehrere Maschinen gleichzeitig miteinander. Die Kapitalwerte und Nutzungsdauern jeder Maschine kann man als unabhängig voneinander bestimmbar betrachten. Wirkungen, die vom Nachfolger einer Maschine

192) Vgl. die Ausführungen S. 60-86.

und dessen Nachfolger (Kette) ausgehen, werden entweder vernachlässigt oder der einzelnen Maschine zugerechnet, deren Kapitalwert und Nutzungsdauer sich dadurch verändert. Es konkurrieren also im Grunde genommen Investitionsketten in Form ihrer Kapitalwerte miteinander. Nimmt man nun an, es handelte sich bei den Nachfolgern um solche, deren Kapitalwert mit dem Kapitalwert des ersten Gliedes der Kette identisch sind (und diese Annahme ist sinnvoll und üblich¹⁹³⁾), dann ist der Kapitalwert einer unendlichen Kette in jedem zukünftigen Reinvestitionszeitpunkt gleich dem Kapitalwert zu Beginn der Kette. Jeder Punkt der unendlichen Kette hat nämlich die gleiche Anzahl von identischen Nachfolgern vor sich. Das bedeutet aber, daß bei einer Konkurrenz der Ketten in jedem Zeitpunkt Investitionen mit den gleichen Kapitalwerten und Nutzungsdauern wie im Kalkulationszeitpunkt miteinander konkurrieren. Unter der Annahme gleicher Engpaßbeanspruchung der Nachfolger einer Maschine muß jedes zukünftige optimale Programm dem optimalen Programm, das am Anfang gefunden wurde, entsprechen. Die Möglichkeit, den Kapitalwert des Programms dadurch zu erhöhen, daß man eine Kette x_1 beginnt und später durch eine andere Kette x_2 fortsetzt, ist bei den genannten Voraussetzungen nicht gegeben, weil der Kapitalwert der Kette x_2 dann höher sein muß und auch im optimalen Ausgangsprogramm Berücksichtigung finden muß. Gegenüber dem Kapitalwert und der Nutzungsdauer einer isoliert betrachteten Maschine (und deren identischen Nachfolgern) ergeben sich also im einstufigen Modell keine Veränderungen, wenn dieser Maschinentyp mit anderen Maschinentypen um die Aufnahme in ein Investitionsprogramm konkurriert. Kapitalwert (und Nutzungsdauer) des einzelnen Maschinentyps bleiben auch im Rahmen des Programmansatzes eines einstufigen Modells die Auswahlkriterien.

Anders ist es bei mehrstufigen Programmansätzen. Die Aufnahme weiterer, nach der ersten Periode möglicher Investitionen

193) Vgl. hierzu Schneider, Dieter, Die wirtschaftliche Nutzungsdauer, S. 57 und 58.

in das Programm in Gestalt von Anlagen, die andere Kapitalwerte als die Ausgangsinvestitionen erbringen, kann nichts anderes bedeuten, als das Fallenlassen der Prämisse, es handle sich bei den Nachfolgern um identische Wiederholungen. Das hat aber zur Folge, daß die Kapitalwerte der Ausgangsinvestitionen und deren Nutzungsdauern nicht mehr im voraus festliegen¹⁹⁴⁾.

Der Kapitalwert der Maschine x_{11} , die mit anderen Maschinen $x_{12} \dots x_{1n}$ in der ersten Periode konkurriert, ändert sich jeweils, wenn die Maschine x_{11} in der 2., 3., ... m-ten Periode durch die Maschinen $x_{2j} \dots x_{mj}$ verdrängt wird. Es sind also im mehrstufigen Modell genau so viele Kapitalwerte pro Maschinentyp einzusetzen, wie es Verdrängungsgelegenheiten im betrachteten Planungszeitraum gibt. Der Kapitalwert richtet sich jeweils nach dem Zeitpunkt der Verdrängung. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer einer Anlage innerhalb des mehrstufigen Modells ist dann beendet, wenn eine Kombination von Anlagen durch das Ausscheiden der in Frage stehenden Maschine einen höheren Gesamtkapitalwert bringt, als eine Kombination unter Beibehaltung dieser Maschine. Erst mit der Lösung des mehrstufigen Programms werden Kapitalwert und Nutzungsdauer einer Anlage festgelegt.

Diese Überlegungen führen zu der Frage, wie weit man zukünftige Aktionen (Investitionen, Finanzierungsmöglichkeiten, mögliche Engpaßerweiterungen) in das Modell aufnehmen soll und ob man einfach einen ganz bestimmten Planungszeitraum wählen bzw. als vorgegeben bezeichnen kann. Es liegt nahe, denjenigen Zeitraum zu wählen, für den noch Informationen vorliegen. Weiß man oder erwartet man, daß z.B. in zwei Jahren ein bestimmter Maschinentyp mit vorgegebenen Eigenschaften auf den Markt kommt, so wird man bemüht sein, diesen mit seinen konkreten Daten in das mehrstufige Modell

194) Vgl. Albach, Horst, Investition und Liquidität, S. 230. Albach geht jedoch nicht näher auf diese Frage ein.

aufzunehmen. Mit welchen Kapitalwerten soll das aber geschehen? Man wird, beginnend mit der Nutzungsdauer, bei der zum ersten Mal ein positiver Kapitalwert erzielt wird (nach der Pay-off-Periode), zu jeder möglichen Nutzungsdauer einen Kapitalwert zuordnen, bis das Maximum überschritten ist. Wirtschaftliche Nutzungsdauer und Kapitalwertmaximum hängen aber auch davon ab, ob die Unternehmung bei Erreichen des Planungshorizonts beendet sein wird oder ob sie weitergeführt werden soll. Da die Weiterführung als Normalfall anzusehen ist, steht man vor der Frage, wie die Investitionen nach dem Planungshorizont angesetzt werden sollen. Es bleibt nur die Möglichkeit, eine identische Wiederholung der zeitlich letzten im Programm enthaltenen Investition anzunehmen. Wenn man aber so vorgeht, dann braucht man für die bis an den Planungshorizont heranreichenden Vorhaben jeder Sparte nicht mehr mehrere, sondern nur eine wirtschaftliche Nutzungsdauer einzusetzen. Die Berechnung unterstellt dann für die Zukunft nach dem Planungshorizont die identische Wiederholung der letzten, bis an den Planungshorizont heranreichenden Investitionen. Da allerdings nicht im voraus feststeht, wann der optimale Ersatzzeitpunkt ihrer Vorgänger erreicht ist, können unterschiedliche Kapitalwerte für die letzten, an den Planungshorizont heranreichenden Anlagen auftreten, je nachdem, ob sie beispielsweise im zehnten, elften oder zwölften Jahr nach dem Kalkulationszeitpunkt eingesetzt werden.

Das mehrstufige Programm enthält also für jede Sparte (Abteilung) eine Anzahl Investitionen, die im gesamten Planungszeitraum um die Aufnahme in das Programm miteinander konkurrieren. Die in naher Zukunft liegenden Vorhaben gehen mit mehreren Nutzungsdauern und mehreren Kapitalwerten in das Programm ein. Die Vorhaben, die an den Planungshorizont heranreichen, nach deren Ablauf also kein konkretes Bündel von Vorhaben mehr angegeben werden kann, gehen mit mehreren Kapitalwerten, aber nur einer Nutzungsdauer in das mehrstufige Modell ein. Die Lösung des Programms bestimmt den Kapital-

wert und den Zeitpunkt des Einsatzes aller Maschinen in einem Rechengang.

2. Das mehrstufige Modell nach der Internen-Zinsfuß-Methode

Die Ausführungen über den Unterschied zwischen dem einstufigen und mehrstufigen Modell gelten analog für die Anwendung des Internen-Zinsfuß-Kriteriums auf den Modellansatz. Auch hier würden im mehrstufigen Ansatz die einzelnen Alternativen nicht mehr mit einem einzigen internen Zinsfuß und der zugehörigen Nutzungsdauer in das Modell eingehen. Vielmehr würden für die einzelnen Vorhaben jeweils mehrere interne Zinsfüße und die zugehörigen Nutzungsdauern zu errechnen und in den Ansatz aufzunehmen sein. Die potentiellen Nachfolger wären in der gleichen Weise zu behandeln. Eine identische Wiederholung entfielen als Voraussetzung für die zeitlich an erster Stelle stehenden Vorhaben. Deren Nachfolger wären mit ihren konkreten Daten (ihren internen Zinsfüßen und den zugehörigen Nutzungsdauern) anzusetzen. Nur die zeitlich an den Planungshorizont heranreichenden Alternativen könnten mit einem einzigen internen Zinsfuß und einer einzigen Nutzungsdauer in das Modell aufgenommen werden. Für sie müßte auf die identische Wiederholung als Prämisse zurückgegriffen werden. Zur Verdeutlichung nehmen wir an, eine Maschine vom Typ 1 könne nach Ablauf der noch unbekannten Nutzungsdauer durch eine Maschine vom Typ 2 ersetzt werden. Der spätere Nachfolger von Typ 2 sei noch nicht konkret fassbar. Man würde in diesem Falle für Typ 1 mehrere Nutzungsdauern mit den zugehörigen internen Zinsfüßen errechnen. Für Typ 2 als derjenigen Alternative, die den Planungshorizont erreicht, wäre ein einziger interer Zinsfuß und eine einzige Nutzungsdauer anzusetzen, weil für die jenseits des Planungshorizonts liegende Zeit die identische Wiederholung von Typ 2 (d.h. die gleiche interne Verzinsung) angenommen werden muß. Die auf diese Weise gewonnenen Daten gehen mit den auf gleichem Wege gewonnenen Daten der anderen betrieblichen Vorhaben in den Modellansatz ein. Die Lö-

sung bestimmt dann, wie lange Typ 1 noch benutzt wird und ob bzw. wann Typ 2 eingesetzt wird.

Besondere Probleme ergeben sich bei der Formulierung der Zielfunktion. Im einstufigen Modell konnten wir vom jährlichen Zinsertrag ausgehen, weil der durch ein Vorhaben erzielte Rentenstrom in gleicher Stärke weiterfließt. Im mehrstufigen Modell kommen als Nachfolger der einzelnen Vorhaben aber Investitionen in Betracht, welche von den Vorgängern abweichende interne Zinsfüße haben. Der Rentenstrom fließt also unregelmäßig. Will man die Ertragskraft der einzelnen Vorhaben einfangen, so genügt nicht mehr der jährliche Zinsertrag als Kriterium, weil dieser nur während der Nutzungsdauer des jeweiligen Vorhabens fließt. Deshalb mußte der gesamte Zinsertrag der Vorhaben einbezogen werden. Er errechnet sich aus den Anschaffungsausgaben, multipliziert mit dem internen Zinsfuß und der Nutzungsdauer. Der gesamte Zinsertrag bringt aber immer noch nicht die Ertragskraft einer Investition zum Ausdruck, weil offen bleibt, wann dieser Zinsertrag anfällt. Der Zinsertrag eines Vorhabens, das während der unmittelbar folgenden Perioden realisiert wird, ist ökonomisch höher einzuschätzen, als der Zinsertrag eines Vorhabens, dessen Realisierung erst in späteren Perioden beginnt. Das Problem wäre auf zwei Wegen lösbar: 1. Der unterschiedliche zeitliche Anfall des Zinsertrages der Vorhaben könnte durch Diskontierung gleichnamig gemacht werden. 2. Dem unterschiedlichen zeitlichen Anfall des Zinsertrages der Vorhaben werden die zeitlichen Präferenzvorstellungen des Investors gegenübergestellt. Unter der zeitlichen Präferenzstruktur des Investors verstehen wir seine Einschätzung einer späteren Einnahme im Verhältnis zu einer früheren Einnahme.

Der erste Weg scheitert an der Festlegung eines Zinsfußes. Außerdem enthält er die Diskontierung als Element des Kapitalwert-Modells. Es wäre, wenn schon eine Diskontierung vorgenommen werden muß, sinnvoller, von Anfang an das Kapitalwert-Modell zu verwenden.

Der zweite Weg hat sachliche und formale Mängel. Die sachlichen Mängel liegen darin, daß die zeitlichen Präferenzvorstellungen des Investors einer theoretischen Analyse kaum zugänglich sind. Die Frage, um wieviel ein heute fälliger Betrag dem Investor mehr bedeutet als ein in einem Jahr fälliger Betrag, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Dazu gehören die Investitionsgelegenheiten, die dem Investor im Zeitablauf geboten werden. Diese könnten im Modell enthalten sein. Dazu gehören aber auch seine Konsumwünsche, die er nur bereit ist zurückzustellen, wenn der Investitionsertrag, der ihm durch die Zurückstellung geboten wird, entsprechend hoch ist; wie hoch, das läßt sich nicht generell feststellen. Selbst wenn es aber gelingen sollte, die zeitlichen Präferenzvorstellungen des Investors zu beschreiben, so bleibt noch offen, in welcher Form sie in das Modell eingeführt werden könnten. Einfach läge der Fall, wenn der Investor feststehende Beträge in festgelegten Zeitabständen aus der Unternehmung abziehen wollte. Die Beträge könnten als strenge Nebenbedingungen in das Modell aufgenommen werden. Würden nur diese Entnahmen die Präferenzvorstellungen des Investors widerspiegeln, so müßte er sich dem zeitlichen Anfall der restlichen Überschüsse gegenüber indifferent verhalten und diejenigen Vorhaben vorziehen, die den absolut höchsten Zinsertrag bringen (immer unter Einhaltung der Entnahmen-Nebenbedingung). Diese Denkweise entspricht aber nicht dem zu beobachtenden Verhalten der Unternehmer. Den über den gewünschten Entnahmen liegenden Überschüssen wird je nach ihrem zeitlichen Anfall ebenfalls eine Höher- oder Minderschätzung zukommen. Gelingt es, sie in einem Zinsfuß einzufangen, so wäre, wie bereits erwähnt, das Kapitalwert-Modell das geeignetere Instrument zur Bestimmung des optimalen Programms. Allerdings hätte hierin der Zins allein die Aufgabe, die Präferenzvorstellungen des Investors zum Ausdruck zu bringen und nicht etwa zukünftige, noch nicht faßbare Investitionsmöglichkeiten gleichzeitig einzufangen.

Kommt die zeitliche Präferenzstruktur des Investors in der Form zum Ausdruck, daß er die jährlichen Entnahmen möglichst

hoch ansetzen will, ohne jedoch die Substanz des Unternehmens anzugreifen, so könnte die Zielsetzung zwar in die Form des Internen-Zinsfuß-Modells gebracht werden. Ein reines Einnahmen-Ausgaben-Modell ist jedoch wesentlich einfacher und leistet die gleichen Dienste¹⁹⁵⁾. Die gesamten Zinserträge der einzelnen Vorhaben (Anschaffungsausgaben x interner Zinsfuß x Nutzungsdauer) sind nämlich nichts anderes als die umgerechneten Einnahmeüberschüsse der Vorhaben.

Damit steht fest, daß das mehrstufige Modell unter Anwendung des Internen-Zinsfuß-Kriteriums sehr umständlich ist und zur Auffindung des optimalen Investitionsprogramms wenig geeignet erscheint. Dagegen leistet das Interne-Zinsfuß-Kriterium beim einstufigen Modell sehr gute Dienste.

Wir wollen deshalb in der folgenden Beschreibung der Datenanforderungen des mehrstufigen Programms nur das Modell, welches von der Kapitalwert-Methode ausgeht, behandeln¹⁹⁶⁾.

-
- 195) Vgl. hierzu die beiden Modelle von Herbert Hax, von denen das erste unsere Zielsetzung einer gegebenen Entnahme behandelt, während das zweite die jährliche Entnahme maximiert. Hax, Herbert, Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 430-446, hier bes. S. 436 und 439.
- 196) Auf die Darstellung der mehrstufigen Modelle von Herbert Hax und von Herbert Jacob haben wir verzichtet. Im Modell von Herbert Hax treten an die Stelle der Gewinnmaximierung modifizierte Zielsetzungen (Maximierung der jährlichen Entnahmen unter Erhaltung eines bestimmten Betriebsvermögens bzw. Maximierung des Betriebsvermögens am Ende der Unternehmung unter Einhaltung fester jährlicher Entnahmen). Diese Modelle hatten wir in der Abgrenzung ausgeschlossen. Vgl. Hax, Herbert, Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, hier bes. S. 437. Die beiden Modelle von Jacob beziehen die Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms mit ein. Das erste Modell entspricht im übrigen seinem Wesen nach dem im folgenden beschriebenen Ansatz. Das zweite Modell ist hingegen anders geartet. Es kommt ohne Kalkulationszinsfuß aus und enthält alle im Planungszeitraum gegebenen Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten, also auch die Möglichkeit, die Gewinne des Planungszeitraums selbst zu investieren. Infolgedessen wird bei diesem Modell solange investiert,
- Fortsetzung der Fußnote auf S. 261.

II. Die Beschreibung des mehrstufigen Modells

1. Allgemeine Beschreibung

Nach der Erörterung von Besonderheiten des mehrstufigen Programms soll eine verbale Beschreibung des Programmansatzes erfolgen. Die verkürzte Schreibweise¹⁹⁷⁾ hat keinen zusätzlichen Aussagewert. Das nachfolgende Beispiel und die Tabellen¹⁹⁸⁾ werden zeigen, welches Zahlenwerk in den Ansatz eingeht, wann es sich bei den Variablen und Parametern um Vektoren und Matrizen handelt und welche Form diese haben.

Die angestrebte Lösung wird in der Zielfunktion zum Ausdruck gebracht. Gesucht wird die Anzahl der Größen x , y und r . Das Symbol x beschreibt die Menge (Anzahl) einer Investition hinsichtlich ihrer Art (Maschinentyp) ihres Einsatzzeitpunktes und ihrer Nutzungsdauer. Jedes Symbol muß also mit drei Indices versehen werden, wenn man die eine Investition von der anderen unterscheiden will. Jedem x_{ijk} ist ein Kapitalwert c als Koeffizient zugeordnet. Das Symbol y beschreibt eine Kapitalbeschaffungsmöglichkeit hinsichtlich ihrer Art, des Aufnahmezeitpunktes und der Laufzeit. Hier

Fortsetzung der Fußnote 196) von S. 260.

bis alle freigesetzten Rückflüsse gebunden sind. Im Gegensatz zu Herbert Hax weist aber Jacob nicht ausdrücklich darauf hin, daß damit eine spezielle Zielsetzung unterstellt wird. Nach der Art des Modells kann es sich aber nur um die Maximierung des Betriebsvermögens am Ende der Unternehmung handeln, ohne daß dabei Entnahmen während der Lebensdauer der Unternehmung vorgesehen sind, denn jeder freigesetzte Betrag wird unter den von Jacob genannten Voraussetzungen sofort wieder investiert. Wir müssen hier von der Behandlung eines Modells mit dieser speziellen Zielsetzung absehen. Vgl. zu diesem Modell Jacob, H[erbert], Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung, S. 581-587.

197) Vgl. zur verkürzten Schreibweise Albach, Horst, Investition und Liquidität, S. 316 ff.

198) Vgl. Tabellen 37-43, S. 267-272.

müssen ebenfalls drei Indices zugeordnet werden, um eine Kapitalaufnahme von der anderen unterscheiden zu können. Jedem y_{ijk} ist ein Kapitalwert v zugeordnet. Das Symbol r beschreibt die Möglichkeit, einen Engpaß auszudehnen. Auch hier sind die Art, der Zeitpunkt und die Wirkungskdauer (in unserem Beispiel ist sie als unbegrenzt angenommen) durch Indices anzugeben. Jedem r_{ijk} ist ein Ausgabenbetrag g zugeordnet. Die Anzahl der x_{ijk} , y_{ijk} und r_{ijk} ist so zu wählen, daß die Funktion

$$(1) \sum_{i=1}^{i=n} c_{ijk} x_{ijk} + \sum_{i=1}^{i=n} v_{ijk} y_{ijk} - \sum_{i=1}^{i=n} g_{ijk} r_{ijk} = C$$

ihr Maximum erreicht. Die Nebenbedingungen müssen zum Ausdruck bringen, daß

1. die Einnahmen und Ausgaben in jeder Periode mindestens ausgeglichen sind; Einnahmeüberschüsse können in die Folgeperiode übertragen werden;
2. die Produktion jeder Periode nicht über den möglichen Absatz der Periode hinausgeht;
3. die in jeder Periode vorhandenen Engpässe (Raum, Arbeitskräfte) nicht überbeansprucht werden;
4. die Begrenzung von Zielgrößen durch andere Zielgrößen eingehalten wird;
5. bestimmte Zielgrößen nur ganzzahlige Lösungen zulassen;
6. die Zielgrößen x , y und r keine negativen Werte annehmen können.

Zu 1.

Jedem x , y und r sind Ausgaben und Einnahmen als Parameter zugeordnet. Da die Indices angeben, für welche Art, für welchen Zeitpunkt und für wie lange x , y und r gelten, sind

auch die Einnahmen und Ausgaben für jede Periode voneinander abgrenzbar. Gibt der erste Index die Art des Projekts, der zweite den Einsatzzeitpunkt und der dritte die Nutzungs- (Wirkungs)dauer an, so ist das finanzielle Gleichgewicht der ersten Periode gewahrt, wenn

$$(2) \sum_{i=1}^{i=n} e_{i1k} x_{i1k} + \sum_{i=1}^{i=n} f_{i1k} y_{i1k} + \sum_{i=1}^{i=n} g_{i1k} r_{i1k} \\ \leq b + \sum_{i=1}^{i=n} d_{i1k} y_{i1k}$$

e_{i1k} sind die Ausgaben für die Maschine i mit der Nutzungsdauer von k in der ersten Periode (Anschaffungskosten). Da die Anschaffungskosten von der Nutzungsdauer unabhängig sind, wird der Betrag für alle k gleich hoch sein. Der Index k spielt also in diesem Zusammenhang keine Rolle. Anders ist es bei der Kapitalbeschaffungsmöglichkeit y_{i1k} . Ist z.B. $k = 1$, so sind in der ersten Periode nicht nur Zinsen (= Ausgaben), sondern auch die Rückzahlung fällig, weil die Laufzeit des Kredits nur ein Jahr beträgt. Bei den Ausgaben für die Engpaßerweiterung r_{i1k} spielt der Index k wiederum keine Rolle. Auf der rechten Seite bedeuten b die vorhandenen Mittel, d_{i1k} die Einnahmen der Kreditart i in der ersten Periode; die Laufzeit k spielt keine Rolle. Da zur Aufrechterhaltung des finanziellen Gleichgewichts in der 2. Periode neben den Ausgaben und Einnahmen der 2. Periode die Überschüsse der Vorperiode verwandt werden sollen, der Überschuß der Vorperiode aber die rechte abzüglich der linken Seite der Gleichung (2) ausmacht, geht der ganze Ausdruck (2) in die Nebenbedingung für das finanzielle Gleichgewicht der 2. Periode ein. Das gilt auch für die weiteren Perioden, so daß die rechte Seite jeweils alle Gleichungen der davor liegenden Perioden enthält.

Zu 2.

Für die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts zwischen Produktion und Absatz gilt im wesentlichen dasselbe wie für

das finanzielle Gleichgewicht. Da keine Lagerhaltung für Folgeperioden vorgesehen ist, können die Nebenbedingungen des finanziellen Gleichgewichts ohne Kassenhaltung analog angewandt werden.

Zu 3.

Auch für die Einhaltung der in jeder Periode vorhandenen Engpässe gilt dasselbe wie für das finanzielle Gleichgewicht und die Übereinstimmung zwischen Produktion und Absatz.

Jedem x und r sind Engpaßbeanspruchungs- bzw. Erweiterungskoeffizienten zugeordnet. Zur Verdeutlichung nehmen wir die Zahlen unseres nachfolgenden Beispiels für den Engpaß Raum:

$$(3) \quad 15 x_{111} + 20 x_{211} + 12 x_{311} + 15 x_{411} + 20 x_{511} \\ + 12 x_{611} \leq 470 + 100 r_{11} + 150 r_{21}$$

Gleichung 3 sorgt dafür, daß die in der ersten Periode betriebenen Anlagen in ihrer Raumbeanspruchung nicht über den vorhandenen Raum (470), der möglicherweise erweitert wird, hinausgehen. Erst die Lösung des gesamten Programms zeigt, ob die Erweiterungen r_{11} und/oder r_{21} durchgeführt werden. Zur Formulierung der Nebenbedingung für das zweite Jahr ist darauf zu achten, daß die Investitionen der ersten Periode mit einer Laufzeit (Nutzungsdauer) von nur einem Jahr wegfallen. Außerdem muß zum Ausdruck kommen, daß die Erweiterungen r_{1j} und r_{2j} nur einmal durchgeführt werden. Dazu müssen die bereits aus S. 247 genannten Nebenbedingungen aufgenommen werden.

Zu 4.

Hängen zwei Größen x_{i11} und x_{i21} derartig voneinander ab, daß die zweite Größe die erste voraussetzt oder einschließt, so sind die auf S. 247 genannten Besonderheiten (Nebenbe-

dingungen) einzuführen. Da x_{i21} die Beibehaltung der vorhandenen Maschine vom Typ i (erster Index) in der zweiten Periode (zweiter Index) für ein weiteres Jahr (dritter Index) bedeutet, so setzt x_{i21} voraus, daß x_{i11} vorhanden ist. Es gilt in diesem Falle

$$x_{i21} \leq x_{i11}.$$

Bei kumulierter Formulierung sind x_{i12} und x_{i21} identisch. x_{i12} bedeutet dann den Einsatz der Maschine i im ersten Jahr mit einer Nutzungsdauer von 2 Jahren, während x_{i21} den weiteren Einsatz der Maschine i im zweiten Jahr mit einer Nutzungsdauer von einem Jahr darstellt. x_{i12} und x_{i21} schließen sich deshalb gegenseitig aus.

Zu 5. und 6.

In diesen Punkten weist das mehrstufige Programm keine Besonderheiten auf. Für die Maschinen müssen ganzzahlige Werte gefunden werden, ebenso für die Durchführung der Raumerweiterung. Die Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten können jedoch in gebrochener Form auftreten. Keiner der Variablen darf negative Werte annehmen.

Zur Lösung eines solchen Modells sind also gemischtganzzahlige Methoden erforderlich.

Beim Programmansatz ist zu beachten, daß im mehrstufigen Modell weitere Nebenbedingungen aufgestellt werden müssen, die in den einstufigen Programmen nicht auftauchen. Soll beispielsweise eine Investition x_{i2} (der vorhandene Maschinentyp i wird in zwei weiteren Perioden zur Fertigung verwandt) oder eine Investition x_{i1} (der Maschinentyp i bleibt nur ein weiteres Jahr im Betrieb), durchgeführt werden, so können die Kapitalwerte der Investitionen in der Art berechnet werden, daß der Kapitalwert für x_{i1} nur für die einjährige weitere Nutzung gilt, während der Kapitalwert für x_{i2} für die zweijährige weitere Nutzung gilt.

Damit schließt die Investition x_{i2} die Investition x_{i1} bereits ein (= kumulierte Berechnung). x_{i1} und x_{i2} können also nicht beide durchgeführt werden. Die Nebenbedingungen müssen diesen Umstand berücksichtigen; sie lauten dann:

$$x_{i2} + x_{i1} \leq 1$$

$$x_{i1}; x_{i2} \text{ ganzzahlig!}$$

Berechnet man die Kapitalwerte so, daß x_{i2} nur die Beschäftigung der Anlage i in Periode 2 bedeutet (nicht kumuliert), so setzt Investition x_{i2} diejenige von x_{i1} voraus. Wenn dann $x_{i2} < x_{i1}$ ist, so bedeutet das die Auswechslung eines Teils der Maschinen vom Typ 1 nach der ersten Periode. Die Investition x_{i2} kann aber nie größer sein als x_{i1} . Die Nebenbedingung lautet dann

$$x_{i2} \leq x_{i1} \quad \text{oder} \quad x_{i1} - x_{i2} \geq 0.$$

2. Beschreibung eines Beispiels

Ein Beispiel soll die Ausführungen verdeutlichen und insbesondere die Datenforderungen eines solchen Modells herausstellen. Es seien 3 Maschinen x_{1j} , x_{2j} und x_{3j} für die gleiche Produktionsaufgabe bereits vorhanden. Die erste Indexziffer bezeichnet den Maschinentyp, die zweite Ziffer die geplante Restnutzungsdauer. Soll z.B. die Maschine des Typs 1 noch ein weiteres Jahr genutzt werden, so wird diese Alternative mit x_{11} bezeichnet. Maschine x_{1j} bringt bei weiterer Nutzung von einem Jahr 100, von zwei Jahren 150, von drei Jahren 180 DM kumulierten Kapitalwert. Wird sie ein weiteres Jahr benutzt, ergibt die Rechnung einen Kapitalwert von 160 DM. Die entsprechenden Werte lauten für x_{2j} : 200, 300 für ein und zwei Jahre (kumuliert), bei drei Jahren Benutzung wird der Kapitalwert negativ; x_{3j} bringt bei

einem Jahr weiterer Nutzung 110 DM Kapitalwert. Bei längerer Nutzung sinkt der kumulierte Kapitalwert.

Auf dem Markt erhält man die gleichen Maschinentypen als neue Anlagen. Zur Abgrenzung von den vorhandenen Anlagen werden sie mit x_{4j} , x_{5j} und x_{6j} bezeichnet. Andere Anlagenmöglichkeiten sind die Maschinen x_{7j} , x_{8j} und x_{9j} , die aber erst nach 2, 3 und 4 Perioden zur Verfügung stehen. Über die Anlagen, die in weiterer Zukunft auf dem Markt erscheinen werden, liegen keine Informationen vor.

Die Anlagen beanspruchen die knappen Faktoren Kapital, Arbeiter und Raum in unterschiedlichem Maße. Es bestehen in der kommenden Periode und den Folgeperioden zwei Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten y_{1j} und zwei Möglichkeiten r_{1j} , den Engpaß Raum zu verändern. Der Verkauf des Produkts bringt bestimmte Geldrückflüsse, die von Anlagentyp zu Anlagentyp verschieden sind. Sie können als Kasse gehalten werden. Die gesamten Daten sind in den folgenden Tabellen geordnet:

T a b e l l e 37

Daten der vorhandenen Maschinen

37a

Pro- jekt	Kapitalwerte ¹⁹⁹⁾ bei Verwendung um weitere Jahre			Kapital- einsatz	Arbeits- kräfte	Raum
	1	2	3			
x_{1j}	100	150	180	-	10	15
x_{2j}	200	300	- 10	-	12	20
x_{3j}	110	40	20	-	18	12

199) kumuliert.

37b

Pro- jekt	Geldrückflüsse in den Perioden			Produktion pro Periode		
	1	2	3	1	2	3
x_{1j}	100	80	60	400	350	300
x_{2j}	200	170	- 12	800	700	400
x_{3j}	110	44	24	250	200	150

T a b e l l e 38

Daten der neuen Maschinen (bisherige Technik)

38a Kapitalwerte

Pro- jekt	Einsatz in Periode	N u t z u n g s d a u e r									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_{4j}	1	-	30	70	120	180	250	200	160	100	40
	2	-	27	63	108	162	225	180	144	90	36
	3	-	24	56	96	144	200	160	128	80	32
x_{5j}	1	-	-	-	-	100	200	300	400	350	200
	2	-	-	-	-	90	180	270	360	315	180
	3	-	-	-	-	80	160	240	320	280	160
x_{6j}	1	-	10	20	30	40	50	40	30	20	10
	2	-	9	18	27	36	45	36	27	18	9
	3	-	8	16	24	32	40	32	24	16	8

38b Engpaßbeanspruchung und Beiträge der neuen
Maschinen (bisherige Technik)

Pro- jekt	Kapital- einsatz	Arbeits- kräfte	Raum	Geldrückflüsse und Produktion pro Periode					
				1	2	3	1	2	3
x_{4j}	1.000	10	15	-	30	70	400	400	400
x_{5j}	1.900	12	20	-	-	-	800	800	800
x_{6j}	500	18	12	-	10	20	250	250	250

T a b e l l e 39

Daten der neuen Maschinen (neue Technik)

39a

Pro- jekt	Einsatz in Periode	Kapital- wert ²⁰⁰⁾	Geldrückflüsse	Produktion
x _{7j}	2	500	-	1.000
	3	450	-	1.000
	4	400	-	1.000
x _{8j}	3	250	-	450
	4	225	-	450
x _{9j}	4	600	-	1.300

39b

Projekt	Kapitaleinsatz	Arbeitskräfte	Raum
x _{7j}	1.900	5	20
x _{8j}	1.200	10	15
x _{9j}	400	15	10

T a b e l l e 40

Daten der Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten

40a Kapitalwerte pro Einheit des Kredits²⁰¹⁾

Art	Aufnahme in Periode	Laufzeit in Jahren						
		1	2	3	4	5	6	7
x _{1j}	1.	0,057	0,104	0,149	0,194	-	-	-
	2.	0,140	0,185	0,226	0,264	-	-	-
	3.	0,218	0,259	0,297	0,331	-	-	-
	4.	0,289	0,327	0,361	0,391	-	-	-

Fortsetzung der Tabelle 40a auf S. 270.

200) Es wird nur die wirtschaftliche Nutzungsdauer angesetzt.

201) Kreditlimit: y_{11} 4.000 DM pro Jahr; y_{12} 6.000 DM kumu-
Fortsetzung der Fußnote auf S. 270.

Fortsetzung der Tabelle 40a von S. 269.

Aufnahme in		Laufzeit in Jahren						
Art	Periode	1	2	3	4	5	6	7
	1.	-	-	-	-			
Y _{2j}	2.	0,132	0,169	0,204	0,235	0,253	0,289	0,312
	3.	0,211	0,245	0,276	0,304	0,330	0,353	0,375
	4.	0,282	0,314	0,342	0,368	0,391	0,412	0,432

40b Finanzplan pro Einheit

Aufnahme in		Zu- gang	in der Pe- riode	A b f l u ß bei einer Laufzeit (in Jahren) von						
Art	Periode			1	2	3	4	5	6	7
Y _{1j}	1	1,0	1.	1,04	0,04	0,04	0,04	-	-	-
			2.	-	1,04	0,04	0,04	-	-	-
			3.	-	-	1,04	0,04	-	-	-
			4.	-	-	-	1,04	-	-	-
	2	1,0	1.	-	-	-	-	-	-	-
			2.	1,04	0,04	0,04	0,04	-	-	-
			3.	-	1,04	0,04	0,04	-	-	-
			4.	-	-	1,04	0,04	-	-	-
	3	1,0	3.	1,04	0,04	0,04	0,04	-	-	-
			4.	-	1,04	0,04	0,04	-	-	-
	4	1,0	4.	1,04	0,04	0,04	0,04	-	-	-

Fortsetzung der Tabelle 40b auf S. 271.

Fortsetzung der Fußnote 201) von S. 269

liert. Laufzeit höchstens 4 und 7 Jahre für y_{i1} und y_{i2} .
Zinssatz für y_{i1} = 4 %, für y_{i2} = 5 % Kalkulations-
zinssatz = 10 %; Zinszahlungstermine postnumerando.

Fortsetzung der Tabelle 40b von S. 270.

Aufnahme in Art Periode	Zu- gang	in der Pe- riode	A b f l u ß bei einer Laufzeit (in Jahren) von						
			1	2	3	4	5	6	7
y _{2j}	1	1,0	1.	1,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
			2.	-	1,05	0,05	0,05	0,05	0,05
			3.	-	-	1,05	0,05	0,05	0,05
			4.	-	-	-	1,05	0,05	0,05
	2	1,0	2.	1,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
			3.	-	1,05	0,05	0,05	0,05	0,05
			4.	-	-	1,05	0,05	0,05	0,05
	3	1,0	3.	1,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
			4.	-	1,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	4	1,0	4.	1,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

T a b e l l e 41

Daten der Veränderung des Engpasses Raum

Projekt	Durchführung in Periode	Zugang in qm	Ausgabe DM
r _{1j}	1	100	1.000
	2	100	1.100
	3	100	1.200
	4	100	1.300
r _{2j}	2	150	1.200
	3	150	1.200
	4	150	1.200

T a b e l l e 42

Möglicher Absatz und vorhandene Produktionsfaktoren

Periode	Möglicher Absatz	Vorhandene Arbeitskräfte	Vorhandener Raum	Finanzielle Mittel
1	16.000			
2	18.000	400	470	4.000
3	20.000			
4	20.000			

Die Tabellen 37 - 42 zeigen, welche Vielzahl von Daten zur Berechnung eines relativ einfachen mehrstufigen Programms nötig sind. Dabei sind noch sehr einfache Verhältnisse zugrunde gelegt. Es wird nur ein einheitliches Produkt hergestellt; die Maschinen sind Spezialmaschinen und dienen nur einem einzigen Zweck, sie können nicht umgestellt werden; es stehen nur zwei Kapitalbeschaffungsquellen zur Verfügung; die Engpaßerweiterung ist nur beim Engpaß Raum möglich und nur durch zwei Aktionen, die beide nebeneinander in jeder Periode durchgeführt werden können, aber jede nur einmal. Der Planungszeitraum beträgt 4 Perioden. Die Lösung enthält demnach 4 Investitionsprogramme. Es stehen jedoch auch Informationen, die für die Zeit nach der 4. Periode gelten, zur Verfügung.

D. Kritische Würdigung der Planungsrechnungs-Modelle

I. Das einstufige Modell

Das einstufige Programm nach der Kapitalwert-Methode weist zunächst den Nachteil auf, daß auch hier aus den mehrfach beschriebenen Gründen die exakte Bestimmung des Kalkulationszinsfußes nicht im voraus möglich ist. Die Ableitung des Zinsfußes aus der bisherigen Durchschnittsverzinsung des eingesetzten Kapitals führt ebenfalls nicht zum Ziel,

selbst wenn die bisherige Durchschnittsverzinsung genau der zukünftigen entspricht. Das Rechnen mit einem solchen Zinsfuß führt nämlich auch beim Planungsrechnungs-Modell zur Ablehnung der unter dem Durchschnitt liegenden Investitionen, die aber den Durchschnitt mitbestimmen und deshalb zum Teil durchzuführen sind²⁰²⁾.

Die Abweichung des auf diese Weise gefundenen Programms vom optimalen Programm wird um so größer sein, je größer die Anzahl der Investitionen ist, deren Rendite vom Durchschnittssatz abweicht.

Die Nachteile des Kapitalwert-Modells werden vom Internen-Zinsfuß-Modell vermieden. Mit seiner Hilfe gelingt es, ohne Kalkulationszinsfuß das optimale Programm zu finden. Es ist allerdings darauf zu achten, daß alle Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten, also auch die Investitionen außerhalb der Unternehmung mit in das Modell aufgenommen werden. Die Beachtung der möglichen Außenanlagen ist allerdings von geringer Bedeutung, wenn viele betriebliche Investitionsprojekte mit verhältnismäßig hoher Rendite vorhanden sind und von vornherein feststeht, daß das Kapital nur zur Durchführung eines Teils dieser Projekte ausreicht.

Sowohl der Kapitalwert-Methode als auch der Internen-Zinsfuß-Methode in der Form des Linearen Planungsmodells haftet jedoch ein Nachteil an, der sich aus der Verwendung der Linearen Planungsrechnung ergibt: Die typische Aufgabe der Linearen Planungsrechnung besteht darin, solche Problemstellungen zu lösen, bei denen angesichts einer Vielzahl von Nebenbedingungen zu planen ist. Eine derartige Aufgabenstellung liegt jedoch bei der Investitionsplanung nur zum Teil vor. Sie wäre dann gegeben, wenn keine Erweiterung der Engpässe vorgenommen werden soll oder kann. Die Investitions-

202) Vgl. hierzu auch Hax, Herbert, Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, S. 434.

planung wird aber gerade darauf ausgerichtet sein, die Engpässe zu beseitigen, soweit die Beseitigung wirtschaftlich durchgeführt werden kann.

Es ist zweckmäßig, in diesem Zusammenhang zwei Arten von Engpässen zu unterscheiden:

1. Engpässe, deren Kapazität ganze Betriebsteile oder sogar den Gesamtbetrieb begrenzt,
2. Engpässe, deren Kapazität die Ausnutzung oder den Ausbau einzelner Projekte begrenzt.

Engpässe der ersten Art wären gegeben, wenn das Kapital knapp ist oder wenn beispielsweise für einen Betrieb, der vorwiegend ungelernte Arbeitskräfte in allen Bereichen beschäftigt, Mangel an diesen Arbeitskräften besteht. Engpässe der zweiten Art wären gegeben, wenn beispielsweise zur Bedienung einer oder mehrerer gleichartiger Spezialmaschinen nur eine beschränkte Anzahl von spezialisierten Fachkräften zur Verfügung steht.

Der Unterschied zwischen den beiden Engpaßarten besteht also darin, daß im ersten Fall alle Bereiche und damit viele Investitionsprojekte um den Engpaß konkurrieren, während im zweiten Falle nur eine geringe Anzahl oder gar nur ein Investitionsprojekt vom Engpaß abhängt.

Die zweite Art von Engpässen läßt sich in der Investitionsplanung verhältnismäßig einfach berücksichtigen: Entweder zeigt sich eine Möglichkeit, den Engpaß zu beseitigen; in diesem Falle würde die Beseitigungsaktion mit den sie berührenden Projekten zu einem Investitionsvorhaben zusammengefaßt und das Gesamtprojekt der Wirtschaftlichkeitsanalyse unterzogen; der Planungsansatz würde den Engpaß nicht als Restriktion, sondern als Teilinvestition enthalten. Oder es besteht keine Möglichkeit, den Engpaß zu beseitigen; die von der Engpaßbeseitigung abhängigen Investitionen müßten dann zurückgestellt werden; der Planungsansatz enthält weder

die Investitionen, noch die ihre Durchführung verhindernden Engpässe.

Die erste Art von Engpässen könnte nun in der Form strenger Nebenbedingungen in den Planungsansatz aufgenommen werden. Die Engpässe würden die Struktur des Programms mitbestimmen. Erweiterungsmöglichkeiten bleiben dann unberücksichtigt. Diese Konstellation entspricht der typischen Aufgabenstellung, zu deren Lösung die Lineare Planungsrechnung dienen kann. Durch die Engpaßberücksichtigung erhöht sich die Anzahl der Restriktionen.

Es muß aber bezweifelt werden, ob die betrieblichen Engpässe so geartet sind, daß nicht doch Ausweichmöglichkeiten bestehen, beispielsweise durch eine neue Kombination der vorhandenen Faktoren oder durch zusätzliche Investitionen, die speziell auf die Engpaßbeseitigung gerichtet sind²⁰³⁾. Das würde aber bedeuten, daß nicht mehr nur die geplanten neuen Projekte in den Planungsansatz aufzunehmen sind, sondern auch die bereits vorhandenen Anlagen, die gegen die neuen Anlagen um die Engpaßeinheiten konkurrieren. Außerdem sind auch die Engpaß-Beseitigungs-Investitionen in den Ansatz aufzunehmen, und zwar in der Art wie wir es formal beschrieben haben²⁰⁴⁾.

Die Folge dieser realeren Gestaltung des Modells ist eine erhebliche Ausweitung des Programms. Dabei ist noch zu beachten, daß der Programmansatz weit umfangreicher sein wird, als es in unseren Beispielen beschrieben wurde. Sobald sich z.B. die Kapitalwerte bzw. internen Zinsfüße der 1., 2., 3. ... n-ten Maschine des gleichen Typs voneinander unter-

203) Vgl. hierzu auch Moxter, Adolf, der darauf hinweist, daß in der langfristigen Investitionsplanung die Beseitigung des Minimumsektors einzubeziehen ist. Moxter, Adolf, Lineares Programmieren und betriebswirtschaftliche Kapitaltheorie, S. 295.

204) Vgl. unsere Ausführungen, S. 246-249.

scheiden, dann ist jede einzelne Maschine als ein gesonder-
tes Vorhaben in den Ansatz aufzunehmen; durch entsprechende
Nebenbedingungen muß außerdem sichergestellt werden, daß je-
de Maschine nur einmal in das Programm aufgenommen werden
kann und die richtige Reihenfolge dabei gewahrt wird²⁰⁵).
Gerade dieser Ausbau des Modells führt aber zu neuen Schwierig-
keiten. Wir haben bereits ausgeführt, daß für die Inve-
stitionsplanung ganzzahlige Lösungen verlangt werden. Aus
den nichtganzzahligen Lösungen kann nicht unmittelbar auf
das ganzzahlige Optimum geschlossen werden²⁰⁶). Vielmehr
ändert sich durch die Ganzzahligkeitsbedingung die Struktur
des Programms. Die bisher entwickelten Lösungsmöglichkei-
ten ganzzahliger Programme reichen nach unserer Kenntnis
nur für Modelle mit wenigen Variablen aus. Die hier ange-
führten Besonderheiten erhöhen aber noch die ohnehin schon
sehr große Anzahl der Variablen beträchtlich.

II. Das mehrstufige Modell

Das mehrstufige Modell läßt sich, wie wir gezeigt haben, nur
in der Form des Kapitalwert-Modells formulieren²⁰⁷). Die In-
terne-Zinsfuß-Methode versagt hier.

205) Zur Formulierung dieser Nebenbedingung vgl. unsere Aus-
führungen S. 264 und 265.

206) Das schließt nicht aus, daß die nichtganzzahlige Lö-
sung als Ausgangsbasis zum Auffinden der ganzzahligen
Lösung herangezogen werden kann. Auf diesem Wege gehen
z.B. Land und Doig vor. Vgl. hierzu Land, A.H., und
Doig, A.G., An Automatic Method of Solving Discrete
Programming Problems. In: Econometrica, Vol. 28 (1960),
S. 497-520, bes. S. 500. Vgl. zur ganzzahligen Lösung
linearer Planungsrechnungsmodelle auch Langer, Hermann,
Die Bestimmung des optimalen Investitionsprogramms für
Mehrproduktartbetriebe mit Hilfe des Linear Program-
ming. Diss. Mainz 1962 und die dort angegebene Litera-
tur. Langer geht näher auf das Verfahren von Gomory
ein (S. 105-117).

207) Von der Darstellung des Einnahmen-Ausgaben-Modells haben
wir abgesehen, weil in diesem Modell an die Stelle der
Gewinnmaximierung modifizierte Zielsetzungen (Maximie-
rung der jährlichen Entnahmen unter Erhaltung eines
Fortsetzung der Fußnote auf S. 277.

Beim mehrstufigen Kapitalwert-Modell bestehen indessen die gleichen Schwierigkeiten, die schon bei der Nutzungsdauer-Bestimmung und beim einstufigen Modell auftraten: Der Kalkulationszinsfuß ist weder exakt bestimmbar, noch lassen sich mit einem geschätzten Zinsfuß die richtigen Programme finden, weil der Kalkulationszinsfuß ein Durchschnittszinsfuß ist und alle unter dem Durchschnitt liegenden, aber noch gewinnbringenden Investitionen aus dem Programm verweist.

Das Modell ist jedoch als theoretisches Abbild in der Lage zu zeigen, in welcher Weise die Zusammensetzung der Investitionsprogramme von den gegenwärtigen und den zukünftigen Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten abhängt. Jede zusätzliche Information über zukünftige Investitions- und Finanzierungsgelegenheiten kann die Programme verändern. Man braucht sich aber nicht mehr mit der allgemeinen Aussage zu begnügen, ein Einfluß sei möglicherweise gegeben, sondern man kann anhand des Modells Art und Umfang des Einflusses demonstrieren.

Zur direkten Anwendung ist das mehrstufige Modell ungeeignet. Wir haben bei der Beschreibung der praktischen Einzelanalyse gezeigt, daß es bereits schwierig ist, die Einnahmen und Ausgaben der im Kalkulationszeitpunkt gegebenen Vorhaben zu bestimmen. Eine Präzisierung der Einnahmen und Ausgaben zukünftiger Projekte ist nur in ganz seltenen Fällen möglich.

Fortsetzung der Fußnote 207) von S. 276.

bestimmten Betriebsvermögens bzw. Maximierung des Betriebsvermögens am Ende der Unternehmung unter Einhaltung fester jährlicher Entnahmen) treten. Diese Modelle hatten wir in der Abgrenzung ausgeschlossen. Vgl. zum Einnahmen-Ausgaben-Modell Hax, Herbert, Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung, hier bes. S. 437.

S C H L U S S

Die Bedeutung der Investitionsmodelle

für die

Investitionsplanung

Gegenstand unserer Untersuchung war die Frage, ob und auf welche Weise Investitionsmodelle zur Investitionsplanung herangezogen werden können. Die Investitionsplanung geht von der Einzelanalyse der Investitionen aus. In diesem Zusammenhang standen im wesentlichen zwei Modelle zur Auswahl: 1) Das Kapitalwert-Modell und 2) das Interne-Zinsfuß-Modell. Die Modelle waren aber noch nicht gleichwertig. Während das Kapitalwert-Modell bereits in der Literatur zur simultanen Bestimmung von Kapitalwert und wirtschaftlicher Nutzungsdauer herangezogen wurde, hatte man das Interne-Zinsfuß-Modell bisher nur zur Ermittlung der Rentabilität einer Investition bei gegebener Nutzungsdauer eingesetzt. Wir hatten daher zunächst einmal das Interne-Zinsfuß-Modell auf die gleichzeitige Bestimmung der Nutzungsdauer auszuweiten. Unsere Untersuchung hat dann gezeigt, daß von den beiden Modellen nur das Interne-Zinsfuß-Modell zur Anwendung geeignet ist. Dieses Modell verlangt im Gegensatz zum Kapitalwert-Modell keine vorherige Bestimmung eines Wirtschaftlichkeits-Maßstabes in Form des Kalkulationszinsfußes. Die exakte Bestimmung eines solchen Maßstabes ist nämlich weder im voraus möglich, noch führt seine Anwendung im Falle einer Schätzung dieses Maßstabes zu richtigen Ergebnissen.

Bei der Beschreibung der Einzelanalyse unter den in der Praxis herrschenden Bedingungen hat sich dann gezeigt, daß auch Investitionen mit unvollständigen Zahlungsreihen beurteilt werden müssen, und daß außerdem die mit dem jeweiligen Vorhaben verbundenen Risiken im Rahmen der Einzelanalyse zu berücksichtigen sind.

Die Einzelanalyse liefert die Ausgangsdaten und das Steuereungskriterium zur Aufstellung von Investitionsprogrammen. Unsere Untersuchung sollte zunächst zeigen, inwieweit es möglich ist, mit herkömmlichen Hilfsmitteln das optimale Investitionsprogramm zu finden. In der Literatur waren zwar Modelle zur Bestimmung des optimalen Investitionsprogramms entwickelt worden, bei diesen wurde aber bereits die Lineare Planungsrechnung eingesetzt. Sie lieferten nichtganzzahlige

Lösungen und bauten auf der Kapitalwert-Methode auf. Wir stellten uns zunächst die Aufgabe, mit traditionellen Hilfsmitteln nichtganzzahlige, aber auch ganzzahlige Lösungen zu finden. Wir gingen dabei zunächst ebenfalls von der Kapitalwert-Methode aus. Da sich die Mängel dieser Methode aber schon bei der Einzelanalyse gezeigt hatten, versuchten wir anschließend, die Interne-Zinsfuß-Methode bei der Auffindung nichtganzzahliger und ganzzahliger Lösungen zugrunde zu legen. Wir kamen zu dem Ergebnis, daß die Interne-Zinsfuß-Methode als Grundlage zur Bestimmung des optimalen Investitionsprogramms geeignet ist, wenn man eine Ergänzung der Methode vornimmt. Die Ergänzung besteht in der Bestimmung des Zinsertrages der einzelnen Investitionen, der sich aus dem internen Zinsfuß und dem Kapitaleinsatz errechnen läßt.

Im Anschluß an die Darstellung der Modelle zur Bestimmung des optimalen Investitionsprogramms wandten wir uns der Frage zu, wie das optimale Programm unter den in der Praxis herrschenden Bedingungen gefunden werden kann. Es zeigte sich dabei, daß die Praxis nicht streng nach den Regeln des Modells vorgeht. Nach der Theorie müßten beispielsweise alle Alternativen bei der Programmaufstellung in die Überlegungen einbezogen werden. Das gilt auch für Vorhaben, die sich gegenseitig ausschließen. Die Praxis trifft häufig schon vor der Programmplanung unter den sich gegenseitig ausschließenden eine Auswahl nach den Kriterien der Einzelanalyse. Sie nimmt nur die rentabelsten von den sich gegenseitig ausschließenden Vorhaben in das Programm auf. Sie geht damit nicht streng nach dem Prinzip der Gewinnmaximierung vor. Das Vorgehen der Praxis ließe sich nur dann rechtfertigen, wenn man grundsätzlich annehmen könnte, die rentabelsten Vorhaben seien auch die sichersten. Eine solche Annahme läßt sich jedoch nicht aufrechterhalten. Die Sicherheit eines Vorhabens hängt nicht von seiner Rentabilität, sondern von den speziellen Risiken ab, wie sie sich anhand der Risikoanalyse zeigen.

Eine weitere in der Praxis vorzufindende Übung ist die Aufteilung der Investitionen in verschiedene Teilprogramme und die Zusammenfügung der Teilprogramme in der Endphase der Planung. Dieses Vorgehen hat den Vorteil der Übersichtlichkeit; es läßt sich aber auch, wie wir gezeigt haben, mit den Regeln des Modells in Einklang bringen.

Bei der Darstellung der Modelle, die das optimale Investitionsprogramm mit Hilfe traditioneller Verfahren bestimmen, stellte sich heraus, daß die Lösung sehr schwer zu finden ist, wenn mehr als zwei Engpässe zu beachten sind. Für diese Fälle erscheint die Lineare Planungsrechnung besonders geeignet. Die bisher in der Literatur entwickelten Planungsrechnungs-Modelle zur Lösung dieser Fälle gehen von den Kapitalwerten der einzelnen Investitionen aus. Wir haben zunächst diese Modelle beschrieben. Da sie aber die gleichen Nachteile aufweisen, wie alle anderen auf der Kapitalwert-Methode aufbauenden Modelle, waren auch in diesem Zusammenhang Verfahren zu entwickeln, die auf der Internen-Zinsfuß-Methode aufbauen. Für das einstufige Modell konnte ein Ansatz gefunden werden, der von der Internen-Zinsfuß-Methode ausgeht. Beim mehrstufigen Modell war das nicht in befriedigender Weise möglich. Vom Standpunkt der Modellanwendung ist dieses Ergebnis ausreichend, weil das mehrstufige Modell wegen der Datenanforderungen nicht in der Praxis angewandt werden kann.

Die Planungsmodelle zur Aufstellung von Investitionsprogrammen haben in der praktischen Investitionsplanung bisher noch keine Bedeutung erlangt. Die Ursache mag darin liegen, daß die Modelle erst in den letzten Jahren entwickelt wurden und noch nicht auf die praktischen Bedürfnisse ausgerichtet waren. Die Anwendung der Linearen Planungsrechnung war auf diesem Gebiet schon deshalb nicht möglich, weil noch keine einfachen und leistungsfähigen Modelle des ganzzahligen Programmierens zur Verfügung stehen. Hingegen stellt die wirtschaftliche Verknüpfung einzelner Vorhaben der Anwendung der Linearen Planungsrechnung keine unüber-

windlichen Schwierigkeiten entgegen. Sie lassen sich durch eine geeignete Formulierung des Programmansatz überwinden. Ebenso ließen sich die Engpässe, die in den beschriebenen Modellen in der Form von strengen Nebenbedingungen auftreten, als erweiterungsfähige Engpässe und damit als Erweiterungsinvestitionen in ein verfeinertes Programm einfügen.

Die Modelle der Einzelanalyse werden bereits von vielen Unternehmen bei der Investitionsplanung eingesetzt. Die Modelle zur Programmaufstellung sind in der Zwischenzeit soweit ausgereift und vereinfacht, daß ihrer praktischen Anwendung keine Hindernisse mehr im Wege stehen. Das gilt in erster Linie und ohne Einschränkung für das Interne-Zinsfuß-Modell, das sich traditioneller Rechentechniken bedient. Dieses Modell kann, wie wir gezeigt haben, den Verhältnissen der Wirklichkeit angepaßt werden. Mit seiner Hilfe gelingt es, die Investitionsplanung sowohl hinsichtlich der Beurteilung einzelner Vorhaben, als auch hinsichtlich der Zusammenstellung von Programmen einheitlich und zielgerecht zu gestalten.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

Abromeit, Hans Günther, Das Problem der Anlagenerneuerung,
In: ZfB, 23. Jg. (1953), S. 89-100.

Albach, Horst, Investitionspolitik in Theorie und Praxis.
In: ZfB, 28. Jg. (1958), S. 766-783.

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit betrieblicher Investitionen. In: ZfB, 29. Jg. (1959), S. 419-431.

Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen. Köln und Opladen 1959.

Lineare Programmierung als Hilfsmittel betrieblicher Investitionsplanung. In: ZfhF, N.F., 12. Jg. (1960), S. 526-549.

Zur Verbindung der Kapitalwert-Methode mit der Pay-off-Methode in der Investitionsrechnung. In: ZfB, 31. Jg. (1961), S. 297-300.

Artikel Wirtschaftlichkeitsrechnung. In: Handwörterbuch der Sozialwissenschaften, 41. Lieferung, Stuttgart-Tübingen-Göttingen 1962, S. 72.

Investition und Liquidität. Wiesbaden 1962.

Investitionsentscheidungen im Mehrproduktunternehmen. In: Adolf Angermann (Hrsg.), Betriebsführung und Operations Research. Frankfurt (Main) 1963, S. 24-48.

Das optimale Investitionsbudget. In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 456-470.

Angermann, Adolf, Entscheidungsmodelle. Frankfurt (Main) 1963.

Arbeitskreis Hax der Schmalenbach-Gesellschaft, Wesen und Arten unternehmerischer Entscheidungen. In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 685-715.

Arbeitskreis Weber-Hax der Schmalenbach-Gesellschaft, Der Einkauf im Industriebetrieb. Köln und Opladen 1960.

Ballmann, Werner, Beitrag zur Klärung des betriebswirtschaftlichen Investitionsbegriffes und zur Entwicklung einer Investitionspolitik der Unternehmung. Dissertation, Mannheim 1954.

- Böhm, Hans-Hermann, Kostenwirkungen der Ertragsbesteuerung in der Investitionsrechnung. In: Führungsentscheidungen und ihre Dispositionshilfen, herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Betriebswirtschaft, Berlin o.J. (1958), S. 105-122.
- Boulding, Kenneth E., Time and Investment. In: Economica, New Series, Vol. 3 (1936), S. 196-220.
- Brandt, Horst, Investitionspolitik des Industriebetriebes. Wiesbaden 1959.
- Brown, Cary E., Business-Income Taxation and Investment Incentives. In: Income, Employment and Public Policy. Essays in Honour of Alvin Hansen. New York 1948, wiederabgedruckt in: Readings in the Economics of Taxation, London 1959, S. 525-537.
- von Briel, Hansrudolf, Die Ermittlung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer von Anlagegütern. Dissertation, Winterthur 1955.
- Bußmann, Karl Ferdinand, Das betriebswirtschaftliche Risiko. Meisenheim/Glan 1955.
- Churchman, C. West, Ackoff, Russel L. und Arnoff, Leonard E., Operations Research. Eine Einführung in die Unternehmensforschung. Wien und München 1961.
- Dantzig, George B., The Programming of Interdependent Activities: Mathematical Model. In: Koopmans, Tjalling C. (Hrsg.), Activity Analysis of Production and Allocation, New York 1951, S. 19-32.
- Linear Programming under Uncertainty. In: Management Science, Volume 1 (1955), S. 197-206.
- Linear Programming and Extensions, Princeton N.J. 1963.
- Dean, Joel, Managerial Economics. New York 1951.
- Capital Budgeting, New York, 3. Aufl., 1956.
- Dean, Joel, and Smith, Winfield, Has MAPI a Place in a Comprehensive System of Capital Controls? In: Solomon, Ezra (Hrsg.), The Management of Corporate Capital, Chicago 1961, S. 293-306.
- Dinkelbach, W. und Hax, Herbert, Die Anwendung der gemischt ganzzahligen Programmierung auf betriebswirtschaftliche Entscheidungsprobleme. In: ZfhF, N.F. 14. Jg. (1962), S. 179-196.
- Doig, A.G. und Land, A.H., An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems. In: Econometrica, Vol. 28 (1960), S. 497-520, bes. S. 500.

Eucken, Walter, Die Grundlagen der Nationalökonomie. 6.Aufl., Heidelberg 1950.

Förstner, Karl, Bemerkungen zur Wirtschaftsmechanik. In: ZfB, 29. Jg. (1959), S. 38-48.

Gäfen, Gérard, Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, Tübingen 1963.

Garvin, Walter, W. Introduction to Linear Programming. New York-Toronto-London 1960.

Gerbel, B.M. Rentabilität, Fehlinvestitionen, ihre Ursachen und ihre Verhütung, Wien 1955.

Gomory, Ralph E., An All-Integer Programming Algorithm. In: Muth, J.F. and Thompson, G.L. (Hrsg.), Industrial Scheduling, Englewood Cliffs N.J. 1963, S. 193-203.

Gutenberg, Erich, Zur neueren Entwicklung der Wirtschaftlichkeitsrechnung. In: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, Band 108 (1952), S. 630-645.

Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. 1. Band: Die Produktion, 3. Aufl., Berlin-Göttingen-Heidelberg 1957.

Untersuchungen über die Investitionsentscheidungen industrieller Unternehmen. Köln und Opladen 1959.

(Hrsg.) Absatzplanung in der Praxis. Wiesbaden 1962.

Unternehmensführung, Organisation und Entscheidungen. Die Wirtschaftswissenschaften, 45. Lieferung, Reihe A, Beitrag Nr. 2, Wiesbaden 1962.

Hart, William L., Mathematics of Investment, Boston 1958.

Hax, Herbert, Rentabilitätsmaximierung als unternehmerische Zielsetzung. In: ZfhF, N.F., 15. Jg. (1963), S. 337-344.

Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung. In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 430-446.

Hax, Karl, Die Betriebsunterbrechungsversicherung, Köln und Opladen 1949, 2. überarb. Aufl., Köln und Opladen 1965.

Die Substanzerhaltung der Betriebe. Köln und Opladen 1957.

Planung und Organisation als Instrumente der Unternehmensführung. In: ZfhF, N.F., 11. Jg. (1959), S. 605-615.

- Die Kapitalwirtschaft des wachsenden Industrieunternehmens. In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 252-279.
- Healy, W.C., Multiple Choice Programming. In: Operations Research, Vol. 12 (1964), S. 122-138.
- Heister, Matthias, Die Rentabilitätsanalyse von Investitionen. Köln und Opladen 1962.
- Hirshleifer, J., On the Theory of Optimal Investment Decision. In: Solomon, Ezra (Edit.) The Management of Corporate Capital, Chicago 1961, S. 205-228.
- Jacob, H[erbert], Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung. In: ZfB, 34. Jg. (1964), S. 487-507 und S. 551-594.
- Jevons, W. Stanley, Die Theorie der politischen Ökonomie. Übersetzt von Otto Weinberger, Jena 1924.
- Käfer, Karl, Investitionsrechnungen. In: Die Unternehmung, 15. Jg. (1961), S. 129-146.
- Kern, Werner, Gestaltungsmöglichkeiten und Anwendungsbereich betriebswirtschaftlicher Planungsmodelle. In: ZfhF, N.F., 14. Jg. (1962), S. 167-179.
- Klaasen, L.H. und andere, The Theory of Depreciation and Entrepreneurial Behavior. In: Meij, J.L. (Hrsg.), Depreciation and Replacement Policy. Amsterdam 1961, S. 186-231.
- Klingst, A[nnal], Einführung in die Matrizenrechnung. In: Anwendung der Matrizenrechnung auf wirtschaftliche und statistische Probleme, Würzburg 1959.
- Koch, Helmut, Betriebliche Planung. Die Wirtschaftswissenschaften, 36. Lieferung, Reihe A. Wiesbaden 1961.
- Kölbel, Herbert und Schulze, Joachim, Projektierung und Vorkalkulation in der chemischen Industrie. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1960.
- Koopmanns, Tjalling C., Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. In: Koopmanns, Tjalling C. (Hrsg.), Activity Analysis of Production and Allocation. New York-London 1951, S. 30-97.
- von Kortzfleisch, Gert, Die Grundlagen der Finanzplanung. Berlin 1957.
- Kosiol, Erich, Modellanalyse als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen. In: ZfhF, N.F., 13. Jg. (1961), S. 318-353.
- Artikel Wirtschaftsrechnen und Finanzmathematik. In: HdW, Bd. I., S. 765-878.

Krelle, Wilhelm, Unsicherheit und Risiko in der Preisbildung. In: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, Bd. 113 (1957), S. 632-677.

Gelöste und ungelöste Probleme der Unternehmensforschung. Heft 5 der Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, Köln und Opladen 1962, S. 7 - 28.

Ganzzahlige Programmierungen. Theorie und Anwendungen in der Praxis. Ufo 1956, S. 161.

Langer, Hermann, Die Bestimmung des optimalen Investitionsprogramms für Mehrproduktartbetriebe mit Hilfe des Linear Programming. Dissertation, Mainz 1962.

Leffson, Ulrich, Leasing beweglicher Anlagegüter. In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 396-413.

Lesourne, Jacques, Unternehmensführung und Unternehmensforschung. München-Wien 1964.

Lücke, Wolfgang, Investitionsrechnungen auf der Grundlage von Ausgaben oder Kosten? In: ZfhF, N.F., 7. Jg. (1955), S. 310-324.

Lutz, Friedrich und Vera, The Theory of the Investment of the Firm. Princeton 1951.

Lutz, F[riedrich], A., Zinstheorie, Zürich und Tübingen 1956.

Manne, Alan S., Economic Analysis for Business Decisions. New York-Toronto 1961.

Massé, P[ierre] and Gibrat, R., Application of Linear Programming to Investments in the Electric Power Industry. In: Management Science, Vol. 3 (1956), S. 149-166, bes. S. 158.

Massé, Pierre, Le Choix des Investissements; Critères et Méthodes. Paris 1959. Englische Übersetzung: Optimal Investment Decisions; Rules for Action and Criteria for Choice. Englewood Cliffs, N.J. 1962.

Merk, Gerhard, Wahrscheinlichkeitstheorie und Investitionstheorie. In: Weltwirtschaftliches Archiv, Band 81 (1958), S. 66-79.

Mertens, Peter, Ertragssteuerwirkungen auf die Investitionsfinanzierung - ihre Berücksichtigung in der Investitionsrechnung. In: ZfhF, N.F., 14. Jg. (1962), S. 570-588.

Moxter, Adolf, Der Einfluß der Amortisationsgeschwindigkeit auf die unternehmerische Investitionsentscheidung. In: ZfhF, N.F., 11. Jg. (1959), S. 541-562.

Die Bestimmung des Kalkulationszinsfußes bei Investitionsentscheidungen. In: ZfhF, N.F., 13. Jg. (1961), S. 186-200.

Lineares Programmieren und betriebswirtschaftliche Kapitaltheorie. In: ZfhF, N.F., 15. Jg. (1963), S. 285-309.

Präferenzstruktur und Aktivitätsfunktion des Unternehmers. ZfhF, 16. Jg. (1964), S. 6-35.

Das optimale Investitionsbudget - Stellungnahme. In: ZfhF, 16. Jg. (1964), S. 470-473.

Oberparleiter, Karl, Funktion und Risiken des Warenhandels. 2. Aufl., Wien 1955.

Oursin, Thomas, Probleme industrieller Investitionsentscheidungen. Ergebnisse schriftl. u. mündl. Befragungen des Ifo-Institutes für Wirtschaftsforschung, Berlin-München 1962.

Orth, Ludwig, Die kurzfristige Finanzplanung industrieller Unternehmungen. Köln und Opladen 1960.

Pack, Ludwig, Betriebliche Investitionen. Wiesbaden 1959.

Philipp, F., Unterschiedliche Rechnungselemente in der Investitionsrechnung. In: ZfB, 30. Jg. (1960), S. 26-36.

Reisman, Arnold and Buffa, Elwood S., A General Model for Investment Policy. In: Management Science, Volume 8 (1962), S. 304-310.

Riebel, Paul, Methoden - Probleme der wirtschaftlichen Verfahrenswahl. In: Glastechnische Berichte, 32. Jg. (1959), S. 493-500.

Die Problematik der Normung von Abschreibungen. In: Der Betrieb, 13. Jg. (1960), S. 729-734.

Riley, Vera and Gass, Saul J., Linear Programming and Associated Techniques (A Comprehensive Bibliography on Linear, Nonlinear and Dynamic Programming) Chevey Chase (Maryland) 1958.

Rummel, Kurt, Wirtschaftlichkeitsrechnung, Bericht Nr. 109 des Ausschusses für Betriebswirtschaft des Vereins deutscher Eisenhüttenleute. In: Archiv für das Eisenhüttenwesen, 10. Jg. (1936), S. 73-84.

- Samuelson, Paul A., Dynamic Process Analysis. In: A Survey of Contemporary Economics, edited by Howard S. Ellis, Philadelphia-Toronto 1949.
- Sasieni, Maurice, Yaspan, Arthur und Friedman, Lawrence, Methoden und Probleme der Unternehmensforschung, Würzburg 1962.
- Sauermann, Heinz, Einführung in die Volkswirtschaftslehre. Die Wirtschaftswissenschaften, Reihe B, Nr. 1, Band 1. Wiesbaden 1960.
- Schindler, Heinz, Investitionsrechnungen auf der Basis neuer theoretischer Erkenntnisse. In: ZfhF, N.F., 8. Jg. (1956), S. 462-486.
- Investitionsrechnungen in Theorie und Praxis. Meisenheim/Glan 1958.
- Schmidt, Ralf-Bodo, Die Gewinnverwendung der Unternehmung. Berlin 1963.
- Schneider, Dieter, Die wirtschaftliche Nutzungsdauer von Anlagegütern. Köln und Opladen 1961.
- Der Einfluß von Ertragssteuern auf die Vorteilhaftigkeit von Investitionen. In: ZfhF, N.F., 14. Jg. (1962), S. 539-570.
- Schneider, Erich, Wirtschaftlichkeitsrechnung. 3. Aufl., Tübingen-Zürich 1961.
- Schwarz, Horst, Zur Berücksichtigung erfolgsteuerlicher Gesichtspunkte bei Investitionsentscheidungen. In: BFnP, 14. Jg. (1962), S. 135-153 und S. 199-211.
- Unterschiedliche Erfolgsteuerbelastungen von Investitionsalternativen. In: Neue Betriebswirtschaft, 16. Jg. (1963), S. 1-10.
- Ungewissheitstheorien und ihre Bedeutung für Ertrags-schätzungen im Rahmen von Investitionsrechnungen. In: BFuP, 15. Jg. (1963), S. 551-572.
- Solomon, Ezra, The Arithmetic of Capital Budgeting Decisions. In: Solomon, Ezra (Edit.), The Management of Corporate Capital, Chicago 1961. (Wiederabdruck aus The Journal of Business 1956, S. 124-129) S. 74-79.
- Sommer, Friedrich, Einführung in die Mathematik für Studenten der Wirtschaftswissenschaften. Göttingen und Heidelberg 1962.
- Swoboda, Peter, Die Ermittlung optimaler Investitionsentscheidungen durch Methoden des Operations Research. In: ZfB, 31. Jg. (1961), S. 96-103.

Swoboda, Peter, Der Einfluß der steuerlichen Abschreibungs-
politik auf betriebliche Investitionsentscheidungen.
In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 414-429.

Die betriebliche Anpassung als Problem des betrieb-
lichen Rechnungswesens. Wiesbaden 1964.

Terborgh, George, Dynamic Equipment Policy (A Mapi Study).
New York-Toronto-London 1949.

Realistic Depreciation Policy (A Mapi Study).
Chicago 1954.

Business Investment Policy (A Mapi Study and Manual).
Washington 1958. Deutsche Übersetzung: Leitfaden der
betrieblichen Investitionspolitik, Wiesbaden 1962.

Some Comments on the Dean-Smith Article on the MAPI-
Formula. In: Solomon, Ezra (Hrsg.), The Management
of Corporate Capital, Chicago 1961, S. 307-309.

Wenke, Klaus, Zur Kalkulation von Kuppelprodukten. In: ZfB,
31. Jg. (1961), S. 11-29.

Wicksell, Knut, Lectures on Political Economy, 6th impressi-
on, London 1951.

Witthof, J., Der kalkulatorische Verfahrensvergleich, insbe-
sondere die Wirtschaftlichkeitsrechnung. Das Refa-
Buch, Band 5, München 1956.

L E B E N S L A U F

Walther F l e i g ,	Langen, Sofienstraße 46
geboren am:	19.1.1933
in:	Stettin
Familienstand:	verheiratet
Konfession:	evangelisch
Eltern:	Oberpostdirektor a.D. Joseph Fleig und dessen Ehefrau Anna Katharina
Schulen:	1939-1943 Volksschulen in Saarbrücken, Darmstadt und Frankfurt (Main)
	1943-1945 Realgymnasium zu Groß-Umstadt (Odenwald)
	1946-1953 Wöhler-Realgymnasium zu Frank- furt (Main)
	4.3.1953 Reifeprüfung
Praktische Tätigkeit:	1953-1956 Kaufmännische Stammhauslehre im Lehrberuf Industriekaufmann bei Siemens & Halske AG in Berlin, Frankfurt (Main), Bruchsal (Ba- den) und Erlangen.
Studium:	Sommersemester 1956 - Sommersemester 1960
	Studium der Betriebswirtschafts- lehre an der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakul- tät der Johann Wolfgang Goethe- Universität zu Frankfurt (Main)
	28.11.1960 Ablegung der Diplom-Prüfung

Assistenten- 1.12.1960-
tätigkeit: 30.11.1961

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
im Seminar für Verkehrsbetriebs-
lehre und in der betriebswirt-
schaftlichen Forschungsstelle
Chemische Industrie an der Uni-
versität Frankfurt (Main).

seit Dezember
1961

Wissenschaftliche Hilfskraft
und Verwalter einer wissen-
schaftlichen Assistentenstelle
im Seminar für Industriewirt-
schaft an der Universität
Frankfurt (Main).

Akademischer Lehrer
während des Studiums:

In Betriebswirtschaftslehre:
Prof. Dr. Hax, Prof. Dr. Riebel;
Prof. Dr. Banse, Prof. Dr. Hagen-
müller, Prof. Dr. Koch, Prof. Dr.
Loitlsberger, Prof. Dr. Meier,
Prof. Dr. Moxter;
In Volkswirtschaftslehre:
Prof. Dr. Sauermann, Prof. Dr.
Herzog, Prof. Dr. Napp-Zinn,
Prof. Dr. Neumark, Prof. Dr.
Veit, Prof. Dr. Wehrle.

Walther Fleig

